



**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE
INGENIERIA MECÁNICA**

**DISEÑO DE UN RODETE PELTON, PARA MEJORAR
EL RENDIMIENTO, MEDIANTE CONTROLES DE
CALIDAD, EN LA CENTRAL HIDROELECTRICA
HUAYUNGA PROVINCIA DE
CAJABAMBA - CAJAMARCA 2017**

TESIS:

**PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECANICO**

ELABORADO POR:

LEDESMA SALAS JOSE CARLOS

AREQUIPA – PERÚ

2017



DEDICATORIA

La presente Tesis está dedicado a mis padres Augusto Ledesma Ramírez y Flora Salas de Ledesma por el apoyo constante e incondicional en mi formación profesional e inculcarme los valores para ser un hombre de bien para la sociedad y a todos los que creyeron y siempre estuvieron conmigo y me dieron ganas y ánimos para salir adelante y así lograr mis metas trazadas en la vida.

AGRADECIMIENTO

Agradecer a Dios por iluminarme, darme sabiduría, paz y salud para seguir con mis proyectos, a mi alma mater UAP – Universidad Alas Peruanas – Filial Arequipa, a los ingenieros asesores, de una manera muy especial al Mg. Juan Molina y al Ing. Julio León por brindarme su conocimiento y experiencia para poder culminar mi investigación de tesis.

A toda mi familia por alentarme a seguir adelante y darme ánimos siempre brindarme su apoyo moral eh incondicional en todos estos años.

INDICE

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
RESUMEN	xii
ABSTRAC	xiii
INTRODUCCION	xiv
1. PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO	1
1.1 Localización.	1
1.2 Descripción de la Realidad del Problema.	2
1.3 Delimitación de la Investigación.	2
1.3.1 Delimitación Espacial.	2
1.3.2 Delimitación Social.	2
1.3.3 Delimitación Temporal.	3
1.3.4 Delimitación Conceptual.	3
1.4 Problemas de Investigación.	3
1.4.1 Problema Principal.	3
1.4.2 Problemas Específicos.	4
1.5 Objetivos de la investigación.	4
1.5.1 Objetivo General.	4
1.5.2 Objetivos Específicos.	4
1.6 HIPÓTESIS Y VARIABLES DE LA INVESTIGACION	5
1.6.1 Hipótesis de la investigación.	5
1.6.1.1 Hipótesis General.	5
1.6.1.2 Hipótesis específicas.	5
1.6.2 Variables.	5
1.6.2.1 Variable independiente:	5

1.6.2.2 Variable Dependiente	5
1.6.3 Indicadores	6
1.6.3.1 Indicadores independientes	6
1.6.3.2 Indicadores dependientes	6
1.7. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACION	6
1.7.1 Tipo y Nivel de Investigación.....	6
1.7.1.1 Tipo de Investigación.....	6
1.7.1.2 Nivel de Investigación.....	6
1.7.2 Método y Diseño de la Investigación.....	7
1.7.2.1 Método de la Investigación	7
1.7.2.2 Diseño de la Investigación.....	7
1.7.3 Población y muestra de la investigación.	8
1.7.3.1 Población de la investigación.	8
1.7.3.2 Muestra investigación.....	8
1.7.4 Técnicas, instrumentos y fuentes para la recolección de datos.....	8
1.7.4.1 Técnicas:	8
1.7.4.2 Instrumentos.	8
1.7.4.3 Fuentes.	9
1.8 Justificación e importancia de la Investigación.....	9
1.8.1 Justificación:	9
1.8.1.1 Justificación Teórica.....	9
1.8.1.2 Justificación Real.....	9
1.8.1.3 Justificación Ambiental.	9
1.8.1.4 Justificación Económica.	10
1.8.1.5 Justificación Legal.....	10

1.8.2	Importancia.	10
1.8.3	Limitaciones.....	11
2.	MARCO TEÓRICO	12
2.1.	ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	12
2.1.1.	Ubicación geográfica	12
2.1.2.	Limitaciones.....	13
2.1.3.	Clima y Zona de Vida de la Central	13
2.1.4.	Indicadores geográficos y Población actual.	13
2.1.5.	Estudio de Disponibilidad.....	14
2.2	MARCO HISTÓRICO.....	14
2.2.1	Estudios Previos.....	14
2.2.2	Tesis Nacionales	15
2.2.3	Tesis Internacionales.....	15
2.3.	BASES TEÓRICAS	16
2.3.1	Conceptos generales de Turbinas	16
2.3.2	Clasificación de las Turbinas.....	17
2.3.2.1	Según el grado de reacción	17
2.3.2.2	Según la dirección del flujo en el rodete.....	18
2.3.3	Turbinas de acción.....	18
2.3.4	Turbina Pelton	19
2.3.5	Turbina Turgo	22
2.3.6	Principio de funcionamiento de las turbinas Pelton.....	22
2.3.7	Principio de funcionamiento de las turbina Turgo	24
2.3.8	Características del rodete pelton	25
2.3.9	Características del rodete turgo	27

2.3.10 Norma Técnica	28
2.3.11 Métodos de Diseño para el Rodete Pelton de la Central Hidráulica Huayunga.....	28
2.3.11.1 Diseño por procesos de manufactura	28
2.3.12 Selección del tipo de turbina.....	34
2.3.13. Curvas de rendimiento de turbinas hidráulicas.....	36
2.3.14 Clasificación según el número específico de revoluciones.	38
2.3.15.Componentes.....	43
2.3.16 Funcionamiento de una turbina Pelton.....	44
2.3.17 Características de cada tipo de turbina	44
2.4 ESTUDIO TEÓRICO DE LAS TURBINAS PELTON	45
2.4.1 La potencia Hidráulica.....	46
2.4.2 Calculo de Velocidades.....	46
2.4.2.1 Velocidad del chorro teórica (ideal).....	46
2.4.2.2 Velocidad tangencial teórica (ideal).....	47
2.4.2.3 Velocidad relativa teórica (ideal).....	47
2.4.3 cálculo de perdidas.....	51
2.4.3.1 Perdidas del inyector	51
2.4.3.2 Perdidas en los alabes	51
2.4.3.3 Perdidas por velocidad de salida	52
2.4.3.4 Perdidas hidráulica total	52
2.4.4 Potencia, Torque, Rendimiento	52
2.4.4.1 fuerza del chorro	52
2.4.4.2 Potencia.....	53
2.4.4.3 Torque.....	54
2.4.4.4 Rendimiento	55

2.4.5	Calculo del diámetro del chorro	56
2.4.6	Calculo del diámetro del pelton.....	57
2.4.7	Calculo del diámetros exteriores	58
2.4.8	Calculo del número de cucharas y paso máximo	59
2.4.9	Velocidad Especifica	60
2.4.10	Eficiencia Total de la Turbina Pelton	61
2.4.11	Dimensiones de las cucharas o alabes	63
2.4.11.1	Ancho del alabe:	63
2.4.11.2	Profundidad del alabe.....	63
2.4.11.3	Largo del alabe.....	64
2.4.11.4	Ancho en el destalonamiento	64
2.4.11.5	Punto de cruce de las trayectorias de los puntos exteriores de dos cucharas contiguas	64
2.4.11.6	Espesor del alabe o cuchara.....	65
2.4.11.7	Ángulos de las cucharas.....	66
2.4.12	Dimensiones del inyector	67
2.4.12.1	Diámetro de la salida de la tobera.....	67
2.4.12.2	Ancho de la aguja	68
2.4.12.3	Carrera de la aguja.....	68
2.4.12.4	Eje de la válvula aguja.....	68
2.4.12.5	Longitud de la válvula aguja.....	69
2.4.12.6	Diámetro de ingreso de la tobera	69
2.4.12.7	Ángulos de la válvula aguja	69
3.	CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS DEL DISEÑO DEL PROYECTO	71
3.1	Evaluación de la turbina pelton	71
3.1.1	La potencia Hidráulica.....	71

3.1.2	Calculo de Velocidades.....	71
3.1.3	cálculo de perdidas.....	75
3.1.4	Potencia, Torque, Rendimiento	77
3.1.5	Calculo del diámetro del chorro	80
3.1.6	Calculo del diámetro del pelton.....	81
3.1.7	Calculo de los diámetros exteriores	82
3.1.8	Calculo del número de cucharas y paso máximo	83
3.1.9	Velocidad Específica	84
3.1.10	Dimensiones de las cucharas o alabes	85
3.1.11	Dimensiones del inyector	89
4.-	CONTROLES DE CALIDAD (COMO NUEVAS TECNOLOGIAS).....	93
4.1	CONTROLES DE CALIDAD EN UN RODETE PELTON	93
4.2.-	EVALUACIONES DE CALIDAD POSTERIOR A LA FUNDICION DEL RODETE	94
4.2.1	Evaluación Térmica de Templado.....	94
4.2.2	Evaluación Térmica de Revenido	94
4.3.1	Control Visual.....	95
4.3.2	Control con Radiografía.....	96
4.3.3	Control con Partículas Magnéticas.....	96
4.3.4	Control con líquidos Penetrantes.....	98
4.3.5	Control de Dureza.....	99
4.3.6	Control de Balanceo.....	99
5.	EVALUACIÓN ECONÓMICA	100
5.1.	Introducción	100
5.2.	Costos de las turbinas hidráulicas pelton	100
5.3	TIR Y VAN del proyecto	101

CONCLUSIONES.....	105
RECOMENDACIONES	106
BIBLIOGRAFIA	107
ANEXOS.....	108



TABLAS

TABLA 1: Comparación de Normas internacionales de aceros.....	33
TABLA 2: Propiedades de los Aceros.....	34
TABLA 3: Composición Química del Acero	34
TABLA 4: Horquilla de salto.....	36
TABLA 5: Valores de n_q y n_s para diversos tipos de turbinas.....	41
TABLA 6: Turbinas de Acción.....	44
TABLA 7: Ventajas para alturas medias de salto.	45
TABLA 8: Especificaciones de fabricantes.....	101
TABLA 9: Presupuesto Privado	102
TABLA 10: Ingresos Y Egresos.....	104
TABLA 11 : Van	104
TABLA 12 : TIR	105

GRAFICOS

GRAFICO 1: Caudal y altura de salto	36
GRAFICO 2: Curvas de eficiencia total	37
GRAFICO 3: Selección de una turbina hidráulica por medio del número específico	40
GRAFICO 4: Selección de una Turbina Hidráulica en función a n_s y H_n.	42
GRAFICO 5: turbina Pelton Curvas Características	56
GRAFICO 6: Diámetro Pelton del Rodete	59
GRAFICO 7: Paso máximo entre cucharas	60
GRAFICO 8: Eficiencia de la turbina Pelton.....	62
GRAFICO 9: Dimensiones de las cucharas.....	66
GRAFICO 10: Dimensiones de las cucharas.....	67
GRAFICO 11: Dimensiones del inyector.....	70
GRAFICO 12: VAN Y TIR.....	105

FIGURAS

FIGURA 1: Localización de la central hidroeléctrica	1
FIGURA 2: Localización de la central hidroeléctrica	12
FIGURA 3: Turbina Pelton	21
FIGURA 4: Turbina Turgo.....	22
FIGURA 5: Esquema del rodete Pelton.....	26
FIGURA 6: Vista frontal y sección lateral (izquierda) de una cuchara	26
FIGURA 7: Sentido de rotación	27
FIGURA 8: Defectos de un rodete Pelton por fundición.....	29
FIGURA 9: Defectos de un rodete Pelton por fundición.....	29
FIGURA 10: Rodete fabricado por CNC	31
FIGURA 11: Rodete completamente forjado Turbina Pelton.....	32
FIGURA 12: Rodete Completamente Forjado Turbina Pelton	32
FIGURA 13: Diseño de una rueda Pelton.....	37
FIGURA 14: Componentes de una turbina Pelton	43
FIGURA 15: Triángulo de Velocidades teóricos.....	48
FIGURA 16: Triángulo de Velocidades.....	48
FIGURA 17: Triángulo de Velocidades real	49
FIGURA 18: Control Visual	96
FIGURA 19: Control con Radiografía.....	97
FIGURA 20: Control con Partículas Magnéticas	98
FIGURA 21: Control con Líquidos Penetrantes.....	99
FIGURA 22: Balanceo Dinámico	100

RESUMEN

La potencia instalada en la central Hidroeléctrica Huayunga es 283 KW esta cuenta con un grupo de generación Pelton con un rendimiento de 86% total ubicada en la provincia de Cajabamba. Después de tantos años con ese rendimiento en las turbinas hidráulicas era necesario aumentar la productividad de la central, se procedió a investigar las nuevas tecnologías y metodologías existentes para aumentar el rendimiento total de la central. En la investigación del presente proyecto se plantea el diseño de un Rodete Pelton para el mejoramiento del rendimiento de las turbinas Pelton, la misma que se verá afectada por distintos factores como: materiales de fabricación, diseño, procedimientos de fabricación, ángulos de ataque y otros. Después de las investigaciones, se desarrolló la construcción y montaje; la puesta en marcha y procedimiento de Comprobación del rendimiento a través del método termodinámico de acuerdo a la Norma IEC 60041, “Pruebas de aceptación en campo para determinar la eficiencia hidráulica de turbinas hidráulicas, bombas de almacenamiento y turbinas bombas”.

Por consiguiente con el paso del tiempo y con mejores tecnologías el rendimiento va a ir en aumento en la mejora de la productividad de la turbinas Pelton de eje horizontal.

Se toma en cuenta que la elaboración de esta investigación, se basa en mejorar lo que ya existe añadiendo nuevas tecnologías para lo cual se cita la fuente.

MURRAY GARCIA, H. - (2005). Controles de calidad, en la fabricación de rodetes pelton.

ABSTRAC

The installed power in Huayunga Hydroelectric Plant is 283 KW. It has one Pelton generation group, each with a total output of 86% located in the province of Cajabamba. After many years with this performance in the hydraulic turbines was necessary to increase the productivity of the plant, we proceeded to investigate the new technologies and existing methodologies to increase the total performance of the plant. In the investigation of the present project the design of a pelton runner for the improvement of pelton turbine performance is proposed, the same one that will be affected by different factors such as: materials of manufacture, design, manufacturing procedures, angles of attack and others . After the investigations, the construction and assembly was developed; the start-up and procedure of performance verification through the thermodynamic method according to IEC 60041, "Acceptance tests in the field to determine the hydraulic efficiency of hydraulic turbines, storage pumps and pump turbines".

Therefore, with the passage of time and with better technologies, the performance will increase in the productivity improvement of pelton horizontal axis turbines.

INTRODUCCION

En la actualidad de nuestro país, existen dos principales temas de preocupación, el problema energético que vive el país y además, el calentamiento global y las serias consecuencias que se han pronosticado va traer para un horizonte de tiempo no muy lejano. Es por esto, que es necesario diversificar la matriz energética del país, o sea aumentar la generación de energía eléctrica proveniente de energías renovables no convencionales (ERNC) como energía solar, eólica, geotermia, mareomotriz y pequeña hidráulica. Entre las múltiples ventajas que presentan estos tipos de tecnología, se destaca el bajo impacto ambiental y emisión prácticamente nula de dióxido de carbono (CO₂), conocido como el principal causante del efecto invernadero. La implementación de este tipo de tecnologías se hace cada día más impostergable, esto conlleva a la necesidad de estudiar y generar avances tecnológicos que permitan incentivar el uso de las ERNC. Una central hidroeléctrica utiliza energía hidráulica para la generación de energía eléctrica. En general, estas centrales aprovechan la energía potencial que posee la masa de agua de un cauce natural en virtud de un desnivel, también conocido como salto geodésico. El agua en su caída entre dos niveles del cauce se hace pasar por una turbina hidráulica la cual transmite la energía a un generador donde se transforma en energía eléctrica. Hoy en día la electricidad es una fuente muy importante para la vida y el desarrollo de la población. Es de suma importancia entender las exigencias básicas del ser humano es por lo cual, tiene como finalidad realizar un diseño de Rodete de Pelton para la central Hidroeléctrica Huayunga, y con este aporte de ingeniería la unidad de generación que tendrá, este tipo de turbina, mejore notablemente su producción por generación, y así poder seguir generando desarrollo a la población.

CAPITULO I

1. PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

1.1 Localización.

La presente investigación tendrá como localización la Central Hidroeléctrica de Huayunga Provincia de Cajabamba – Cajamarca.

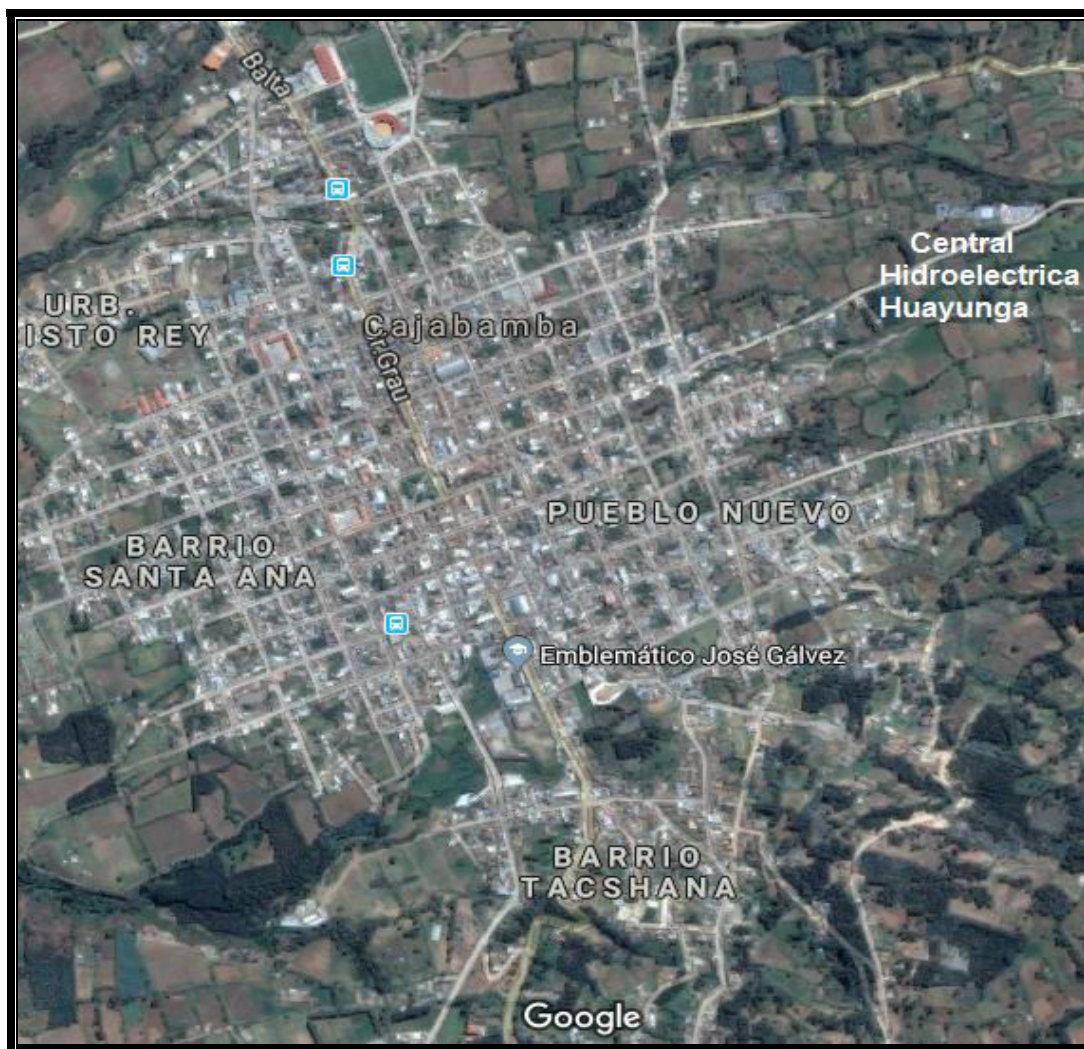


FIGURA 1: Localización de la central hidroeléctrica

FUENTE: Google Map

1.2 Descripción de la Realidad del Problema.

La mejora continua enfocado en la calidad, cada día conlleva a la necesidad del ser humano de crear, diseñar e innovar para el desarrollo en nuestra sociedad, es por lo cual se propone un diseño de un rodete Pelton para la Central Hidroeléctrica de Huayunga Provincia de Cajabamba – Cajamarca, y con este aporte en ingeniería para la unidad de generación aumente la producción por generación, y así poder seguir y generando desarrollo para la empresa y la población. La presente investigación, tiene como finalidad realizar los estudios necesarios para un diseño de Rodete Pelton para luego evaluar los beneficios obtenidos en la investigación, tales como aumento de producción en generación en energía y benéficos económicos, por lo cual nace este diseño que conlleva a investigar las nuevas tecnologías y metodologías existentes para así poder lograr el diseño e implementarse.

1.3 Delimitación de la Investigación.

1.3.1 Delimitación Espacial.

La presente investigación para la elaboración de tesis tendrá como ubicación de desarrollo, la Central Hidroeléctrica de Huayunga Provincia de Cajabamba – Cajamarca que se encuentra a 3082 m.s.n.m.

1.3.2 Delimitación Social.

Esta investigación es un diseño que es elaborado para favorecer a toda la población de la mencionada localidad, y así aumentar la producción en generación de energía y beneficios económicos.

1.3.3 Delimitación Temporal.

Esta investigación es de actualidad, por cuanto el tema de satisfacción laboral es vigente, el diseño se ejecutara en el período 2017-2018, desde agosto hasta abril teniendo en cuenta las actividades a realizar con aspectos evolutivos

1.3.4 Delimitación Conceptual.

Para poner en marcha el diseño de un rodete Pelton, se tendrá en cuenta los siguientes términos que ayudaran a analizar más el tema y llegar a las conclusiones concisas de cómo lograr los beneficios en este diseño:

- Diseño
- Hidroeléctrica
- Rendimiento
- Eficiencia
- Tecnología
- Rodete
- Cangilones
- Calidad

1.4 Problemas de Investigación.

1.4.1 Problema Principal.

- ¿De qué manera se puede dar el diseño de un rodete Pelton para mejorar el rendimiento mediante controles de calidad, (como nuevas tecnologías) en la Central Hidroeléctrica huayunga?

1.4.2 Problemas Específicos.

- ¿Cómo se llegaría a dar el diseño de un rodete Pelton, en la Central Hidroeléctrica huayunga?
- ¿Qué generaría el diseño para mejorar el rendimiento mediante el uso controles de calidad (como nuevas tecnologías) en su fabricación?
- ¿De qué manera nos aseguramos que el diseño sea adecuado para la Central Hidroeléctrica huayunga?

1.5 Objetivos de la investigación.

1.5.1 Objetivo General.

- Realizar el diseño de un rodete Pelton para mejorar el rendimiento mediante el uso de controles de calidad, (como nuevas tecnologías) en la Central Hidroeléctrica huayunga.

1.5.2 Objetivos Específicos.

- Llevar a cabo el diseño de un rodete Pelton utilizando cálculos, normas, catálogos vigentes para el desarrollo de la investigación.
- Investigar por medio de controles de calidad (como nuevas tecnologías) la mejora del diseño para mejorar el rendimiento y aumentar la producción en generación de energía.
- Diseñar un rodete Pelton para mejorar el rendimiento, acumulando información sobre actualización de tecnologías conexas de rodetes Pelton.

1.6 HIPÓTESIS Y VARIABLES DE LA INVESTIGACION

1.6.1 Hipótesis de la investigación.

1.6.1.1 Hipótesis General.

Diseño de un rodete Pelton para mejorar el rendimiento mediante el uso de controles de calidad, (como nuevas tecnologías), en la Central Hidroeléctrica huayunga.

1.6.1.2 Hipótesis específicas.

- Estudio del arte en cuanto a diseño, calculo, aplicando normas vigentes en el diseño de rodetes pelton.
- El análisis e investigación por medio de controles de calidad (como nuevas tecnologías) para aumentar la vida útil.
- Mediante el diseño incrementar el rendimiento de la turbina para la central hidroeléctrica huayunga.

1.6.2 Variables.

1.6.2.1 Variable independiente:

Diseño de un rodete Pelton.

1.6.2.2 Variable Dependiente

Para aumentar el rendimiento, mediante el uso de controles de calidad, (como nuevas tecnologías) en La Central Hidroeléctrica Huayunga Provincia de Cajabamba -Cajamarca.

1.6.3 Indicadores

1.6.3.1 Indicadores independientes

X1 Ámbito donde se realiza la investigación.

X2 Actualización de datos técnicos relacionados a la investigación.

X3 Presupuesto.

1.6.3.2 Indicadores dependientes

Y1 Rendimiento.

Y2 Diseño.

Y3 Calidad

1.7. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACION

1.7.1 Tipo y Nivel de Investigación

1.7.1.1 Tipo de Investigación

Por el tipo de la investigación, el presente diseño reúne las condiciones de un investigación tecnológica, en razón, que se utilizaran conocimientos y cálculos en ingeniería, a fin de obtener el diseño para el desempeño con eficiencia del rodete Pelton de la Central Hidroeléctrica Huayunga Provincia de Cajabamba -Cajamarca.

1.7.1.2 Nivel de Investigación

De acuerdo a la naturaleza del diseño de la investigación, reúne por su nivel las características analíticas, aplicativas, explicativas.

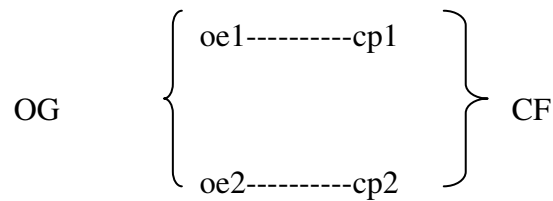
1.7.2 Método y Diseño de la Investigación

1.7.2.1 Método de la Investigación

Los principales métodos que se utilizarán en la investigación son: Análisis, síntesis, deductivo, inductivo, descriptivo, estadístico.

1.7.2.2 Diseño de la Investigación

Para el diseño de la investigación, emplearemos el de una investigación por objetivos conforme al esquema siguiente:



DONDE:

- OG= Objetivo General
- oe= Objetivo específico
- cp= Conclusión Parcial
- CF= Conclusión Final

1.7.3 Población y muestra de la investigación.

1.7.3.1 Población de la investigación.

La población motivo de este diseño está dirigida a un total 74,287.00 (setenta y cuatro mil doscientos ochenta y siete) pobladores en la localidad de Cajabamba del departamento Cajamarca.

1.7.3.2 Muestra investigación.

La muestra a utilizar en la realización de esta investigación tecnológica con llevaba a la necesidad de adquirir equipos de diseño, cálculo para obtener parámetros los cuales nos ayuden a realizar la investigación en el diseño de rodete y así beneficiar a toda la población de la localidad de Cajabamba.

1.7.4 Técnicas, instrumentos y fuentes para la recolección de datos.

1.7.4.1 Técnicas:

Se procederá a la recolección de información mediante técnicas de recolección de datos:

- Documentación, libros.
- Observación en campo.
- Catálogos de equipos.

1.7.4.2 Instrumentos.

- Planos de rodetes elaborados en AUTO CAD.
- Planos de turbinas.

- Catálogos de turbinas pelton.
- Reglamento nacional en edificación eléctricas o mecánicas

1.7.4.3 Fuentes.

La fuente de datos para esta investigación de diseño está constituida por los planos de turbinas, las fichas y catálogos técnicos instrumentos de medición, caudal presión para el desarrollo satisfactorio de la investigación.

1.8 Justificación e importancia de la Investigación.

1.8.1 Justificación:

1.8.1.1 Justificación Teórica.

Esta investigación es necesaria y vital importancia para la empresa y toda la población de la localidad de Cajabamba ya que con ella nos brindara una mejor producción en generación de energía y benéficos económicos para un mejor servicio y calidad de vida en toda la población.

1.8.1.2 Justificación Real.

Esta investigación es básicamente práctico porque mediante este proceso diseñaremos un rodete Pelton que pueda proporcionar un mejor funcionamiento, eficiencia y rendimiento mediante controles de calidad manteniendo salud, higiene acompañado de un sistema perfectamente sincronizado para su funcionamiento y mejor desempeño.

1.8.1.3 Justificación Ambiental.

La justificación ambiental del presente diseño incluye un análisis global de la investigación en su conjunto y un análisis detallado de sus principales componentes. El enfoque técnico adoptado

trata de detectar tanto los conflictos como las relaciones positivas que se presentarían entre intereses y entre actividades (impactos ambientales) como resultado de la ejecución de la investigación.

1.8.1.4 Justificación Económica.

La finalidad de la evaluación económica de este diseño de Turbinas Pelton es la de contar con un nuevo componente de alta calidad, rentabilidad para mejorar en la eficiencia, rendimiento, para que se pueda aprovechar los recursos económicos que se solicitan.

1.8.1.5 Justificación Legal.

Las investigaciones y actos realizados en esta investigación deben ser analizados por personas que den viabilidad para poder realizarlo y tener todo en orden para no tener algún problema legal que pueda impedir la realización y diseño de una Turbina Pelton en la Central Hidroeléctrica huayunga.

1.8.2 Importancia.

Se conoce como turbomáquinas, a las máquinas rotativas que aprovechan la energía de un flujo mediante el paso de este a través de un rotor provisto de álabes o cangilones. En el aprovechamiento de la energía hidráulica, la turbina es el órgano fundamental debido a que es el que transforma la energía del agua en energía mecánica, el rotor de la turbina es el elemento básico, ya que en él se produce la transferencia energética. La investigación es de tipo analítico y descriptivo ya que se realizara un diseño en el cual se van a plasmar los fundamentos teóricos analíticos y prácticos necesarios para la realización y puesta en marcha de la investigación, la investigación tiene como vital importancia investigar y realizar un diseño de Rodetes Pelton

mediante procedimientos de investigación, recolección de datos, catálogos para lograr el diseño de la turbina de eje horizontal.

1.8.3 Limitaciones.

Esta investigación tiene por limitación que se concentra sólo en el Rodete Pelton. Se realizará un diseño utilizando la teoría hidráulica, para luego realizar una optimización del modelo antes diseñado. Es importante recalcar que se contempla en esta investigación de titulación el estudio de manufactura para la fabricación. Que solo se diseñara para el caso de un Rodete Pelton con instalación en la Central Hidroeléctrica de huayunga que cuenta con un rendimiento total de 86.00 % y que sigue funcionando a la actualidad. La particularidad es que solo se estudiara y diseñara a este tipo de turbina ya que es de suma importancia en la generación de unidades de electricidad y sigue generado electricidad con un factor de planta alto donde dicha central tiene una potencia instalada de 283 KW, además de solo hacer parte referencial de elementos complementarios en la descripción de otros componentes esenciales de los grupos generadores.

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. Ubicación geográfica

La Central Hidroeléctrica huayunga tiene como ubicación en la provincia de Cajabamba limitada al norte con la provincia de san marcos al este y al sur con la región libertad. Se encuentra a 3082 m.s.n.m., en la provincia de Cajabamba departamento de Cajamarca. Es la única Central Hidroeléctrica que abastece a la población de Cajabamba. Posee una caída de 247 metros con una con un caudal de $0.135 \text{ m}^3/\text{s}$.



FIGURA 2: Localización de la central hidroeléctrica

FUENTE: Google Map

2.1.2. Limitaciones

El diseño el cual se concentra sólo en el Rodete Pelton para el desarrollo de la investigación. Se va a realizar utilizando la teoría y cálculos, para luego realizar una optimización del modelo antes de ser diseñado. Es vital importancia acotar que en esta investigación se contempla el estudio de los materiales y manufactura. Solo se diseñara para el caso de un rodete Pelton con instalación en la central Hidroeléctrica de huayunga que se encuentra operativa a la actualidad.

2.1.3. Clima y Zona de Vida de la Central

El clima en la zona de huayunga es muy diverso en toda la temporada del año pero los grados los cuales comprende el clima es generalmente húmedo, gusta a muchos ya que no llega a tener inviernos muy fríos ni veranos fuertes de puro calor, la tempera normalmente no sube sobre 25 grados centígrados y también es raro que baje de los 10 grados centígrados. La humedad promedio es de 46%, en verano puede llegar hasta un 70% y en las demás estaciones como invierno, otoño y primavera llega a un mínimo de 27%. Por otra parte la época de lluvias suelen ser entre los meses de enero y marzo las cuales no son exageradas calificadas como totalmente soportables. Se debe tener en cuenta que para la realización de este diseño de un rodete Pelton el clima que presenta especialmente el sector donde será enfocada nuestra investigación es un clima ideal para poder desarrollar y poner en marcha la investigación.

2.1.4. Indicadores geográficos y Población actual.

La población actual que cuenta es de 74,287.00 (setenta y cuatro mil doscientos ochenta y siete) pobladores en la localidad de Cajabamba del departamento Cajamarca. Pobladores que serán beneficiarios de esta investigación y que también acarreará trabajo a la población de la localidad y generara progreso.

2.1.5. Estudio de Disponibilidad

La disponibilidad para el desempeño óptimo de esta investigación incluye un análisis global del proyecto en su conjunto y un análisis detallado de sus principales componentes. El enfoque técnico adoptado trata de detectar tanto los conflictos como las relaciones positivas que se presentarían entre intereses y entre actividades (impactos ambientales) como resultado de todo esto tendrá la disponibilidad para poder poner en ejecución del diseño.

2.2 MARCO HISTÓRICO

2.2.1 Estudios Previos

En primer lugar es importante situarse en el contexto de la investigación, esto corresponde al diseño. Como se ha mencionado antes, el estudio de la generación hidráulica ha privilegiado al sector de la energía, siendo una cantidad razonable de libros e investigaciones dedicadas a grandes investigaciones. Tenemos entendido como turbomáquinas, a las máquinas rotativas las cuales aprovechan la energía de un flujo mediante el paso de este a través de un rodete (está establecido como un diseño) provisto de álabes o cangilones. En el aprovechamiento de la energía hidráulica, la turbina es el órgano fundamental debido a que es el que transforma la energía del agua en energía mecánica, el rodete de la turbina es el elemento básico y fundamental, ya que en él se produce la transferencia energética, todo esto con lleva a la necesidad de recolectar información ya sea de libros, catálogos, revistas nacionales e internacionales que puedan ayudarnos a la recolección de datos fundamentales para poner en marcha el proyecto, los cuales nos ayudan a enriquecer nuestros conocimientos y poder culminar con la elaboración de esta investigación de grado.

2.2.2 Tesis Nacionales

TÍTULO : Diseño y construcción de una Turbina Pelton.

LUGAR : Perú

AUTOR : Santos Moreno Gutiérrez

AÑO : 1953

Resumen

Las Turbinas Pelton como todas las turbinas gozan de las características de tener un reducido costo de mantenimiento, debido a que se necesita poco o ningún cuidado ahorrando en costos económicos, todas las turbinas hidráulicas tiene características que las coloca por sobre otras máquinas, todas las máquinas se prestan al diseño y la construcción, las Turbinas Pelton en especial se presenta su construcción en cualquier maestranza que posea las máquinas y herramientas más indispensables, queda demostrado con todo lo anterior la importancia que tienes estas turbinas hidráulicas en el país. Esta Turbinas Pelton tendrá un posible rendimiento manométrico un poco inferior al cálculo debiéndose esto a los pocos datos que se dispone todo esto conlleva a la necesidad de diseñar y construir una Turbinas Pelton.

2.2.3 Tesis Internacionales

TÍTULO : Diseño de Rodete de Turbina Hidráulica tipo Pelton.

LUGAR : Chile

AUTOR : Lorena Ferrada Sepúlveda

AÑO : 2012

Resumen

Diversificar la matriz energética y reducir los costos medioambientales en la generación de energía, son problemas que está enfrentando Chile actualmente, por lo que es urgente comenzar a estudiar nuevas formas de generación de energías que no sean contaminantes, eficientes y sostenibles. En este contexto el Centro de Energías de la Universidad de Chile está desarrollando un proyecto de micro generación hidráulica llamado Micro central Hidroeléctrica Inteligente, este proyecto contempla la utilización de una Turbina tipo Turgo importada desde China, la cual carece de especificaciones técnicas y presenta inconvenientes técnicos como un rendimiento de 49 %, considerado bajo para este tipo de tecnología. Ante este proyecto de innovación tecnológica es muy importante que el principal órgano de la turbina, el rodete, tenga un mayor rendimiento, y sean conocidas sus características técnicas y alta calidad. El objetivo de este trabajo de titulación es el diseño de un rodete de Turbina tipo Pelton, con el fin de obtener un mayor rendimiento y calidad que con la actual turbina Turgo. Para esto se procederá de la siguiente manera, se realizará un diseño preliminar utilizando la teoría hidráulica. Luego, se modelará el rodete diseñado en el programa Ansys variando los parámetros relevantes para obtener el rodete con mejor rendimiento.

2.3. BASES TEÓRICAS

2.3.1 Conceptos generales de Turbinas

Las turbinas hidráulicas tienen como misión transformar la energía potencial y cinética del agua en energía mecánica de rotación. Las turbinas son turbomáquinas que permiten la transferencia de la energía del agua en energía de giro a un rotor provisto de alabes mientras que el flujo pasa a través de estos; transforma la energía hidráulica en energía mecánica de rotación de su eje. La

turbina hidráulica tiene una rica y variada historia, y ha sido desarrollada como un proceso natural que ha evolucionado a partir de la rueda hidráulica. El principio de funcionamiento para el aprovechamiento hidráulico se basa en el flujo de agua, que con una altura estática y un caudal definido, entra a una cámara espiral, pasa a las cucharas - cangilones del rodete y produce un momento de giro que se transmite al generador para la producción de energía. En relación a la gran combinación de alturas y caudales de las centrales eléctricas, se requieren diferentes tipos de turbinas, en las que se encuentran las turbinas de acción y las de reacción. El empleo de la turbina hidráulica para la generación de electricidad, utilizada originalmente para impulsar directamente la maquinaria, es una actividad relativamente reciente. Gran parte de su desarrollo ocurrió en Francia, que, al contrario que en Inglaterra, no disponía de las fuentes de hulla, abundantes y baratas, que impulsaron la revolución industrial en el siglo XVIII. La Francia del Siglo XIX encontró que su recurso energético más abundante era el agua. Puesto que se trata de una turbomáquina, su principio de funcionamiento se basa en la ecuación de Euler. La aplicación más extendida de las turbinas hidráulicas es la generación de energía eléctrica.

2.3.2 Clasificación de las Turbinas

La energía potencial del agua, se convierte en energía motriz en la turbina, con arreglo a dos mecanismos básicamente diferentes:

2.3.2.1 Según el grado de reacción

Las turbinas se clasifican en turbinas de acción o de impulso y en turbinas de reacción, diferenciándose unas de otras en el modo de transformar la energía del agua. En las turbinas de acción, la presión permanece constante en todo el rodete (presión atmosférica), por lo tanto la altura de presión absorbida por el rodete H_p es nula; y, en consecuencia, el grado de reacción de

estas turbinas debe ser igual a cero. En las turbinas de reacción, la presión a la entrada del rodete es mayor que la presión a la salida del mismo, por tanto la altura de presión es diferente de cero. El grado de reacción de estas máquinas se halla comprendido entre cero y uno.

2.3.2.2 Según la dirección del flujo en el rodete

Las turbinas pueden ser de flujo radial, de flujo radio-axial, de flujo axial y de flujo tangencial. Por ejemplo, las Turbinas Pelton. En las turbinas de flujo radial las partículas de fluido recorren trayectorias inscrita en un plano perpendicular al eje de la máquina. La velocidad del fluido en ningún punto del rodete tiene componente axial (paralela al eje). Es el caso, por ejemplo, de las turbinas Francis puras. En las turbinas de flujo radio-axial o diagonal las partículas de fluido recorren en el rodete trayectorias situadas en una superficie cónica. La velocidad tiene las tres componentes: radial, axial y tangencial. En las turbinas de flujo axial las partículas de fluido recorren en el rodete trayectorias situadas en un cilindro coaxial con el eje de la máquina. La velocidad del fluido en ningún punto del rodete tiene componente radial. Solo tiene dos componentes: axial y periférica (tangencial). Por ejemplo, las turbinas Kaplan y de Hélice.

2.3.3 Turbinas de acción

En las turbinas activas el agua no es entregada alrededor del rodete sino en chorros independientes; utilizan únicamente la velocidad del flujo de agua para girar. En las turbinas de acción se convierte previamente la energía de presión del fluido en energía cinética, creando un chorro libre en la atmósfera. Este chorro se hace incidir sobre los álabes de un rotor, que gira asimismo en el seno de la atmósfera, desviando el chorro, apareciendo por ello un par sobre él que se utiliza para extraer la energía. La turbina de chorro libre fue inventada alrededor de 1880 por Lester Pelton, quien después le dio su nombre. Por lo tanto, la materialización más común de

este tipo de máquinas es la Turbina Pelton. Son máquinas robustas y simples, capaces de un buen rendimiento.

Estas turbinas de acción tienen como particularidad que el fluido de trabajo no sufre un cambio de presión importante en su paso a través de rodete.

- Aprovechan la velocidad del flujo de agua.
- El fluido de trabajo no sufre un cambio de presión importante.
- Son de admisión parcial.
- El rodete no está inundado.
- Se encuentra a la presión atmosférica.
- No tiene tubo de aspiración.

2.3.4 Turbina Pelton

La Turbina Pelton fue inventada por Lester A. Pelton. Esta turbina se define como una turbina de acción, de flujo tangencial y de admisión parcial. Opera más eficientemente en condiciones de grandes saltos, bajos caudales y cargas parciales. Las Turbinas Pelton, conocidas también como turbinas de presión por ser ésta constante en la zona del rotor, de chorro libre, de impulsión, de admisión parcial por atacar el agua sólo una parte de la periferia del rotor. Las turbinas Pelton son las turbinas de acción más utilizadas y son recomendadas en centrales que dispongan grandes alturas de trabajo y bajo caudal. Así mismo entran en el grupo de las denominadas turbinas tangenciales y turbinas de acción. Es utilizada en saltos de gran altura (alrededor de 200 m y mayores), y caudales relativamente pequeños (hasta 10 m³/s aproximadamente). Son de

buen rendimiento para amplios márgenes de variación del caudal (entre 30% y 100 % del caudal máximo). Pueden ser instaladas con el eje en posición vertical u horizontal, siendo esta última disposición la más adecuada. Básicamente la Turbina Pelton consta de las siguientes partes: inyector, rotor y carcasa. El rodete puede ser de una sola pieza o ensamblado. Tiene uno o más inyectores cuyos chorros libres inciden sobre una serie de cucharas montadas sobre la periferia de un disco. El torque es generado por la deflexión del chorro en las cucharas del rodete. La mejora más significativa hecha por Pelton fue introducir las cucharas dobles simétricas. El nervio central rígido separa el flujo en dos mitades iguales, los cuales son desviados hacia los lados. En las grandes instalaciones hidroeléctricas este tipo de turbinas solo es considerado para alturas mayores a 150 metros. Para aplicaciones en micro hidroenergía puede ser usada para saltos mucho menores. Por ejemplo una turbina Pelton que gira a una alta velocidad de rotación puede ser usada para generar 1 Kw con alturas inferiores a 20 metros. Para potencias más grandes la velocidad de rotación disminuye y el rodete se hace muy grande. La tobera o toberas (una turbina de eje vertical puede tener hasta seis toberas) transforman la energía de presión del agua en energía cinética. Cada tobera produce un chorro, cuyo caudal se regula mediante una válvula de aguja. Suelen estar dotadas de un deflector, cuya misión es desviar el chorro para evitar que, al no incidir sobre los álabes, se embale la turbina, sin tener que cerrar bruscamente la válvula de aguja, maniobra que podría producir un golpe de ariete.

Opera más eficientemente en condiciones de grandes saltos, bajos caudales y cargas parciales. Las turbinas de acción tienen la peculiaridad de aprovechar solamente la energía cinética del fluido, no existe, gradiente de presión entre la entrada y la salida de la máquina. El grado de reacción es cero. En la turbina Pelton actual la energía cinética del agua, en forma de chorro libre, se genera en una tobera colocada al final de una tubería de presión. La tobera está provista

de una aguja de cierre para regular el gasto, constituyendo el órgano de alimentación y de regulación de la turbina. El alabe tiene forma de doble cuchara, con una arista diametral sobre la que incide el agua, produciéndose una desviación simétrica en dirección axial, buscando un equilibrio dinámico de la maquina en esa dirección. Por ser el ataque del agua en sentido tangencial a la rueda se le denomina también turbina “tangencial”, por tener el fluido un recorrido axial a su paso por el álabe, se clasifica también entre las máquinas de tipo axial.

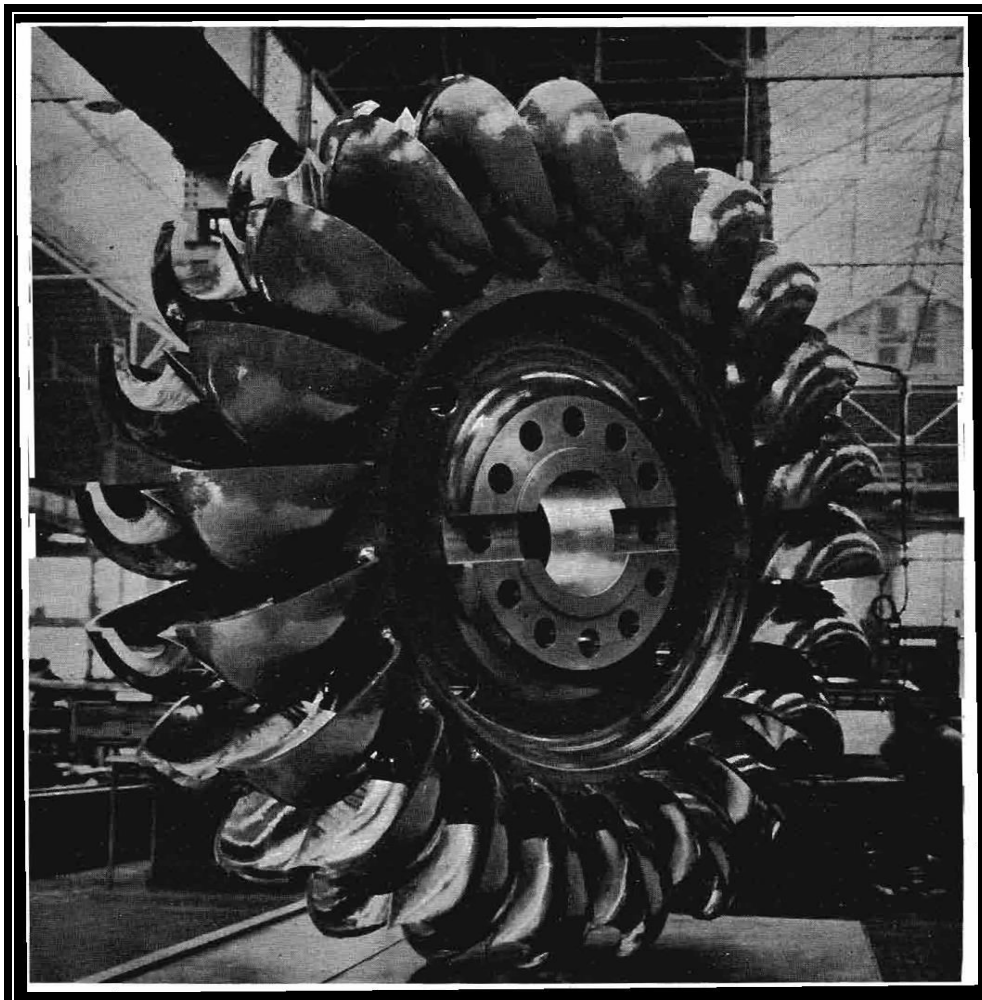


FIGURA 3: Turbina Pelton

Fuente: Polo Encinas M.

2.3.5 Turbina Turgo

La turbina Turgo es una turbina de tipo impulso. Fue Desarrollado en 1919 por la compañía Gilkes y Gordon Ltda, esta empresa inglesa realizo una modificación de la rueda de Pelton, el Turgo por esta modificación tiene ventajas sobre diseños de Pelton y Francis para ciertas aplicaciones.

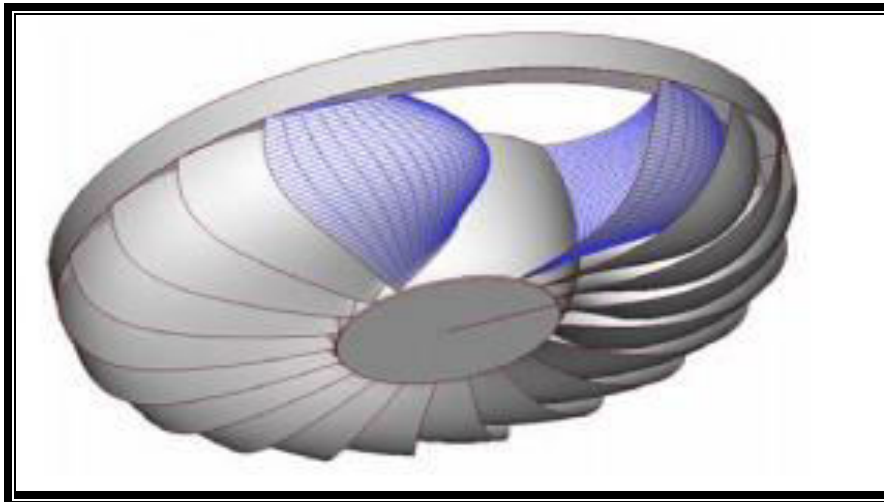


FIGURA 4: Turbina Turgo

Fuente: Kim Hauser

2.3.6 Principio de funcionamiento de las turbinas Pelton

Una vez identificados los componentes de las Turbinas Pelton, y conocidas las funciones respectiva, se entiende fácilmente el funcionamiento de las mismas. La sucesiva transformación de la energía se efectúa del modo siguiente. La energía potencial gravitatoria del agua embalsada, o energía de presión hasta los orificios de las toberas, se convierte, prácticamente sin pérdidas, en energía cinética, al salir el agua a través de dichos orificios en forma de chorros

libres, a una velocidad que corresponde a toda la altura del salto útil, estando referida ésta, para el caso concreto de las Turbinas Pelton, al centro de los chorros considerados. Se dispone de la máxima energía cinética en el momento en que el agua incide tangencialmente sobre el rodete, empujando los álabes que lo forman, obteniéndose el trabajo mecánico deseado. Las formas cóncavas de los cangilones hacen cambiar la dirección del chorro de agua, saliendo éste, ya sin energía apreciable, por los bordes laterales, sin ninguna incidencia posterior sobre los cangilones sucesivos. De este modo, el chorro de agua transmite su energía cinética al rodete, donde queda transformada instantáneamente en energía mecánica. La válvula de aguja, gobernada por el regulador de velocidad, cierra más o menos el orificio de salida de la tobera, consiguiendo modificar el caudal de agua que fluye por ésta, al objeto de mantener constante la velocidad del rodete, evitándose embalsamiento o reducción del número de revoluciones del mismo, por disminución o aumento respectivamente de la carga solicitada al generador. La línea que divide a cada cangilón en dos partes simétricas, corta al chorro de agua, seccionándolo en dos láminas de fluido, teóricamente del mismo caudal, precipitándose cada una hacia la concavidad correspondiente. Tal disposición permite contrarrestar mutuamente los empujes axiales que se originan en el rodete, equilibrando presiones sobre el mismo, al conseguir cambiar, simétrica y opuestamente, los sentidos de ambas láminas de agua. Para el correcto funcionamiento del Generador Pelton, se debe observar con claridad sus necesidades, tomando en cuenta que la puesta en marcha y parada debe cumplir ciertos requerimientos, de tal manera que éstos pueden ser controlados adecuadamente y de ésta forma su funcionamiento sea el adecuado.

- La energía potencial del agua embalsada, o energía de presión, hasta los orificios de salida de las toberas, se convierte en energía cinética, al salir el agua a través de dichos orificios en forma de chorros libres

- Estos chorros de agua incide tangencialmente sobre el rodete, empujando a los cangilones que lo forman, obteniéndose el trabajo mecánico deseado.
- Las formas cóncavas de los cangilones hacen cambiar la dirección del chorro de agua, saliendo éste, ya sin energía apreciable, por los bordes laterales, sin ninguna incidencia posterior sobre los cangilones sucesivos.
- De este modo, el chorro de agua transmite su energía cinética al rotor, donde queda transformada instantáneamente en energía mecánica.
- La aguja, gobernada por el regulador de velocidad, cierra más o menos el orificio de salida de la tobera, consiguiendo modificar el caudal de agua que fluye por ésta, a fin de mantener constante la velocidad del rotor, evitándose embalsamiento o Reducción del número de revoluciones.
- La arista del cangilón corta al chorro de agua, seccionándolo en dos láminas de fluido, simétricas y teóricamente del mismo caudal
- Esta disposición permite contrarrestar mutuamente los empujes axiales que se originan en el rotor equilibrando presiones sobre el mismo, al cambiar, simétrica y opuestamente los sentidos de ambas láminas de agua.

2.3.7 Principio de funcionamiento de las turbina Turgo

El agua no cambia de presión cuando pasa a través de los álabes de la turbina. La energía potencial del agua se convierte en energía cinética en la tobera de entrada o inyector. El chorro de agua a alta velocidad se dirige contra los álabes de la turbina que lo desvían e invierten el flujo. El impulso resultante hace girar el rodete de la turbina, comunicando la energía al eje de la

turbina. Finalmente el agua sale con muy poca energía. Los rodets de una turbina Turgo pueden tener un rendimiento por encima del 90%.

El rodete de una Turgo se parece a un rodete Pelton partido por la mitad. Para la misma potencia, el rodete Turgo tiene la mitad del diámetro que el de un rodete Pelton y dobla la velocidad específica. El turgo puede manejar un mayor flujo de agua que el pelton debido a que el agua que sale no interfiere con las paletas adyacentes.

La velocidad específica de los rodets Turgo se encuentra situada entre la de las turbinas Francis y Pelton. Se pueden usar una o varias toberas o inyectores. Incrementando el número de inyectores se incrementa la velocidad específica del rodete en la raíz cuadrada del número de chorros (cuatro chorros rinden dos veces la velocidad específica de un chorro para la misma turbina).

2.3.8 Características del rodete pelton

El rodete de una turbina Pelton es una rueda con álabes en forma de cucharas o cangilones, con un diseño característico, situados en su perímetro exterior. Sobre estas cucharas es sobre las que incide el chorro del inyector, de tal forma que el choque del chorro se produce en dirección tangencial al rodete, para maximizar la potencia de propulsión.

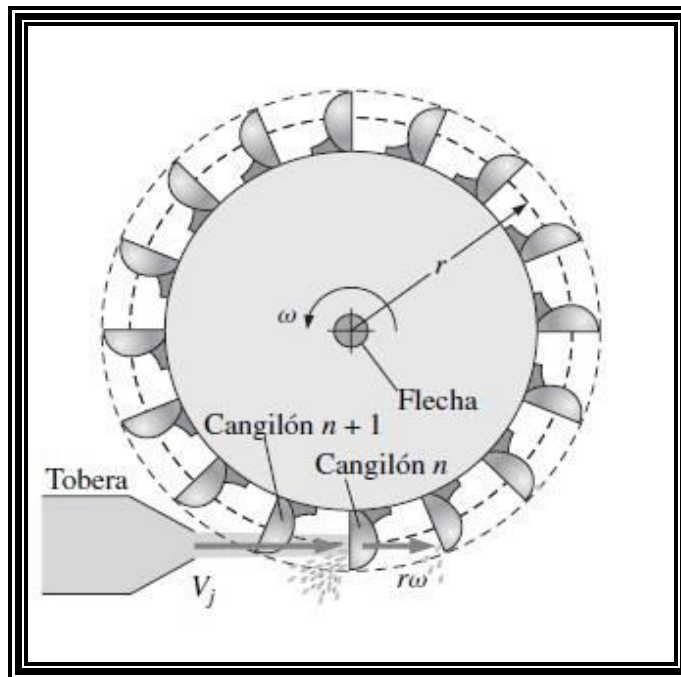


FIGURA 5: Esquema del rodete Pelton

FUENTE: Polo Encinas M.

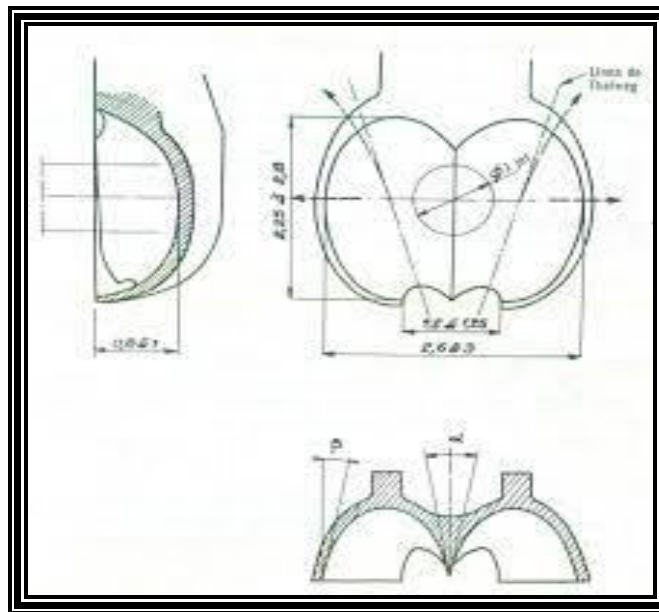


FIGURA 6: Vista frontal y sección lateral (izquierda) de una cuchara

FUENTE: Polo Encinas M.

2.3.9 Características del rodete turgo

En primer lugar, el rodete es más barato de fabricar que el de una Pelton. En segundo lugar no necesita una carcasa hermética como la Francis. En tercer lugar tiene una velocidad específica más elevada y puede manejar un mayor flujo para el mismo diámetro que una turbina Pelton, conllevando por tanto una reducción del coste del generador y de la instalación.

Las Turgo operan en un campo de desniveles en el que se solapan las turbinas Francis y Pelton. Aunque existen muchas instalaciones grandes con turbinas Turgo, estas se utilizan más en instalaciones hidráulicas pequeñas en las que es importante el bajo coste.

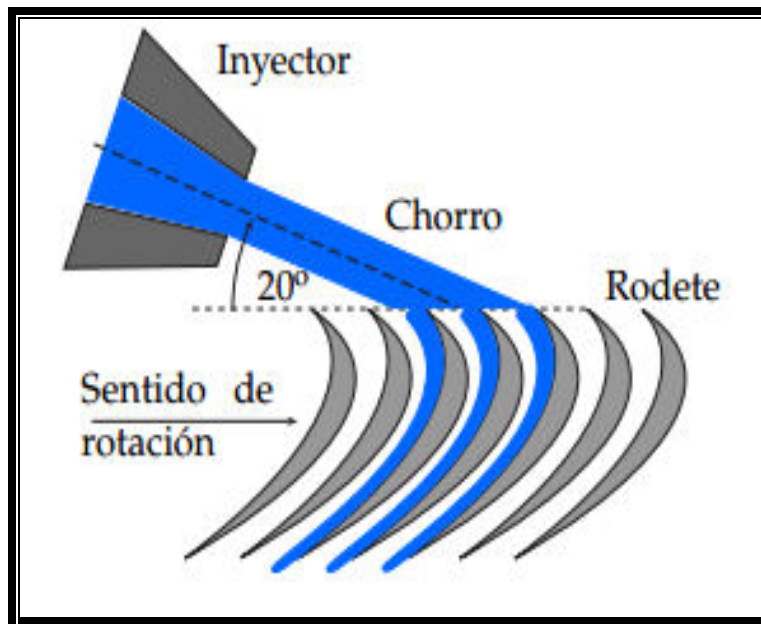


FIGURA 7: Sentido de rotación

Fuente: Kim Hauser

2.3.10 Norma Técnica.

ANEXOS:

- **(Norma CCH 70-3).**- Adecuado procedimiento en la realización de los ensayos.

2.3.11 Métodos de Diseño para el Rodete Pelton de la Central Hidráulica Huayunga.

2.3.11.1 Diseño por procesos de manufactura

Desde ya muchos años anteriores se vienen fabricando turbinas pelton a través del proceso de fabricación por medio de la fundición, método tradicional que a lo largo del tiempo tiene una evaluación de análisis de fallas con riesgos de probabilidad de fallas y consecuencias fundamentales como se indica los siguientes factores:

- Porosidad en el cierre en los proceso de fabricación de las fundiciones.
- Gran diferencia de calidad.
- Reparaciones tempranas en los rodets nuevos.
- Riesgo de soldaduras defectuosas y de fisuras.
- Demoras en el suministro.
- Desviaciones locales en el perfil.
- Mala calidad desde el comienzo



FIGURA 8: Defectos de un rodete Pelton por fundición.

Fuente: Rodríguez R.



FIGURA 9: Defectos de un rodete Pelton por fundición.

Fuente: Rodríguez R.

Según la experiencia de los grandes fabricantes de rodetes Pelton, estos rodetes fundidos son pocos confiables la probabilidad de salir volando por la fuerza centrífuga que se produce en la producción diaria de energía hidráulica. Hoy en día hay soluciones mucho más confiables debido al avance de los procesos modernos de manufactura como lo mencionaremos en el desarrollo de la investigación. Por eso, si se comparan los nuevos rodetes ya no habrá accidentes, con los controles de servicio adecuados y el mantenimiento adecuado.

En coordinación con el fabricante ANDRITZ, para fabricar componentes de mejor calidad como es la rueda Pelton en factores como la eficiencia total, vida útil mayor, manutención, identificación de fallas tempranas. De allí parte la inquietud de mi persona, mejorar estos factores en la rueda Pelton como es el rendimiento, vida útil, mayor seguridad en la operación, programas de mantenimiento, para el mejoramiento del diseño y fabricación de las ruedas Pelton futuras.

Como podemos apreciar, en el proceso de fabricación de las ruedas Pelton se ha estado fabricando con el Acero G-X 5 Cr Ni 13.4/CA-6NM, como se puede observar en el gráfico las amplitudes de esfuerzos por fatiga en la siguiente correlación de menor a mayor; proceso de fundición, luego vino el proceso Micro Guss que consiste en fabricar la rueda y las cucharas separadas por medio del forjado y CNC para luego unir las por soldadura y por último se recomendó que el método de fabricación de todo el proceso completo se realice por forjado y la terminación final con máquina herramienta CNC esto conlleva dimensiones adecuadas, acabado y tolerancia estandarizadas.

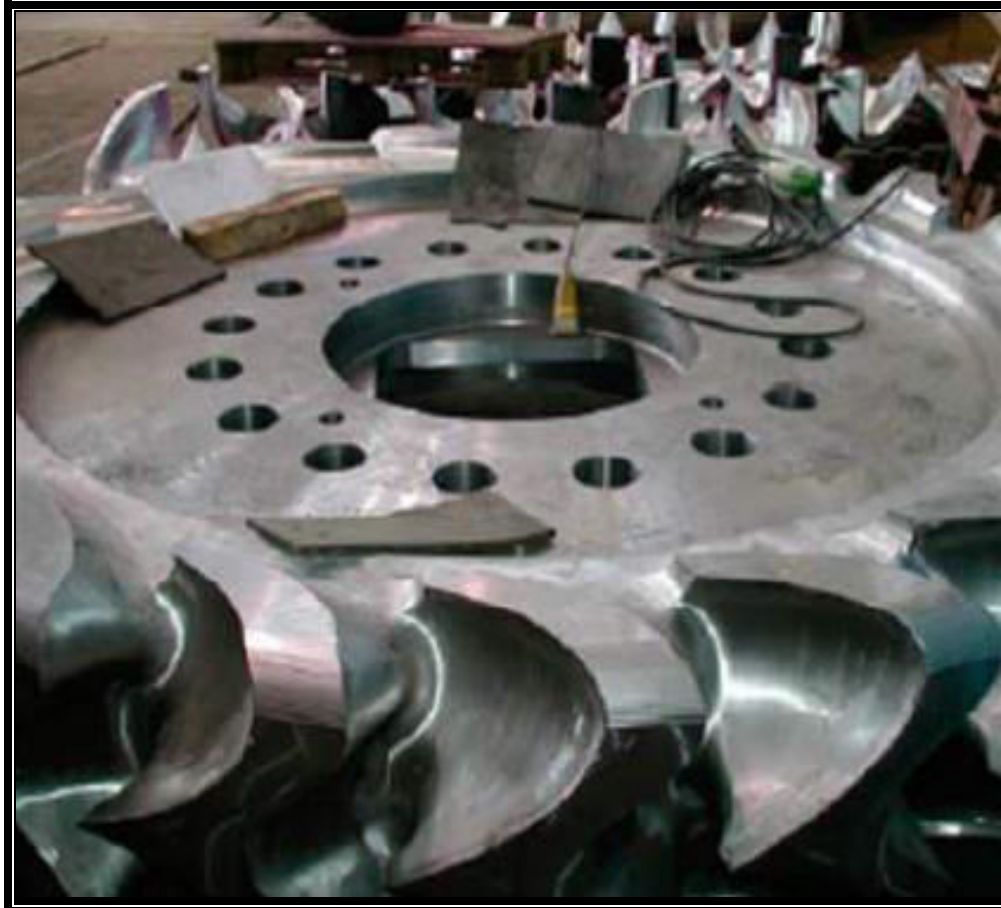


FIGURA 10: Rodete fabricado por CNC

Fuente: Rodríguez R.

En la siguiente imagen se puede observar el desprendimiento de arranque de viruta por medio de la máquina herramienta Control Numérico Computarizado -CNC desde el inicio de la pieza en bruta forjada hasta la obtención de rueda final, por último las pruebas de tintes penetrantes, y al análisis ultrasónico.



FIGURA 11: Rodete completamente forjado Turbina Pelton.

Fuente: Rodríguez R.



FIGURA 12: Rodete Completamente Forjado Turbina Pelton

Fuente: Rodríguez R.

El rodete Pelton fundido con el material G X5 Cr Ni 13 4 (Acero Inoxidable COR 13-4) el mas empleado hoy en día por turbinas Pelton. la combinación de cromo-níquel en el acero fundido, de gran pureza de aleación, se caracteriza sobre todo por su gran Resistencia a la corrosion y al desgaste, así como por su soldabilidad y grandes propiedades de imantación, necesarias para las pruebas de partículas magnéticas, su dureza promedio se encuentra entre 270HB-310HB.

PAIS	NORMA	DENOMINACION
EE.UU	SAE	CA 6-NM
ALEMANIA	DIN	G - X5 Cr Ni 13 4
INGLATERRA	B.S	425 C12
FRANCIA	AFNOR	Z8 CD 17 - 01
JAPON	JIS	SCS 6
SUECIA	SS	2385
ITALIA	UNI	G X6 Cr Ni 13 04

TABLA 1: Comparación de Normas internacionales de aceros.

FUENTE: Murray García

Propiedades del acero

SIMBOLO	RANGO	PROPIEDADES
Rm	760-960	Fuerza de Atracción
R ϕ	540	Límite de Elasticidad
Ro	15	Alargamiento de ruptura
HB	270-310	Dureza
Av	55	Resiliencia

TABLA 2: Propiedades de los Aceros

FUENTE: Murray García

Composición química del acero

ELEMENTO	SIMBOLO	CANT. MAX. (%)
Carbono	C	0.052
Silicio	Si	0.500
Manganeso	Mn	0.610
Fosforo	P	0.010
Azufre	S	0.010
Cromo	Cr	12.220
Molibdeno	Mo	0.800
Niquel	Ni	3.900

TABLA 3: Composición Química del Acero

FUENTE: Murray García

MURRAY GARCIA, H. - (2005). Controles de calidad, en la fabricación de rodets pelton.

2.3.12 Selección del tipo de turbina

Para preseleccionar el tipo de turbina a instalar en una central hidroeléctrica, se utilizan unas graficas que facilitan los fabricantes de turbinas. Con ellos, se determina el tipo de turbina a partir de los parámetros de salto y caudal. Tal y como se muestra en la figura entrando en abscisas con el salto en m y en ordenadas en el caudal de agua en m³/s, se obtendría el tipo de turbina más adecuado para la instalación. El tipo, geometría y dimensiones de la turbina están condicionados, fundamentalmente, por los siguientes criterios:

- Altura de salto neta.
- Horquilla de caudales a turbinar.

- Velocidad de rotación.
- Problemas de cavitación.
- Velocidad de embalsamiento.
- Costo.

El salto bruto es la distancia vertical, medida entre los niveles de la lámina de agua en la toma y en el canal de descarga, en las turbinas de reacción, o el eje de toberas en las de turbinas de acción. Conocido el salto bruto, para calcular el neto, basta deducir las pérdidas de carga, a lo largo de su recorrido. En la siguiente tabla se especifica, para cada tipo de turbina, la horquilla de valores de salto neto dentro con la que puede trabajar. Obsérvese que hay evidentes solapamientos, de modo que para una determinada altura de salto pueden emplearse varios tipos de turbina.

Tipo de turbina	Altura de salto en m
Kaplan y hélice	$2 < H_n < 40$
Francis	$25 < H_n < 350$
Pelton	$50 < H_n < 1.300$
Michel - Banki	$5 < H_n < 200$
Turgo	$50 < H_n < 250$

TABLA 4: Horquilla de salto

FUENTE: Polo Encinas M.

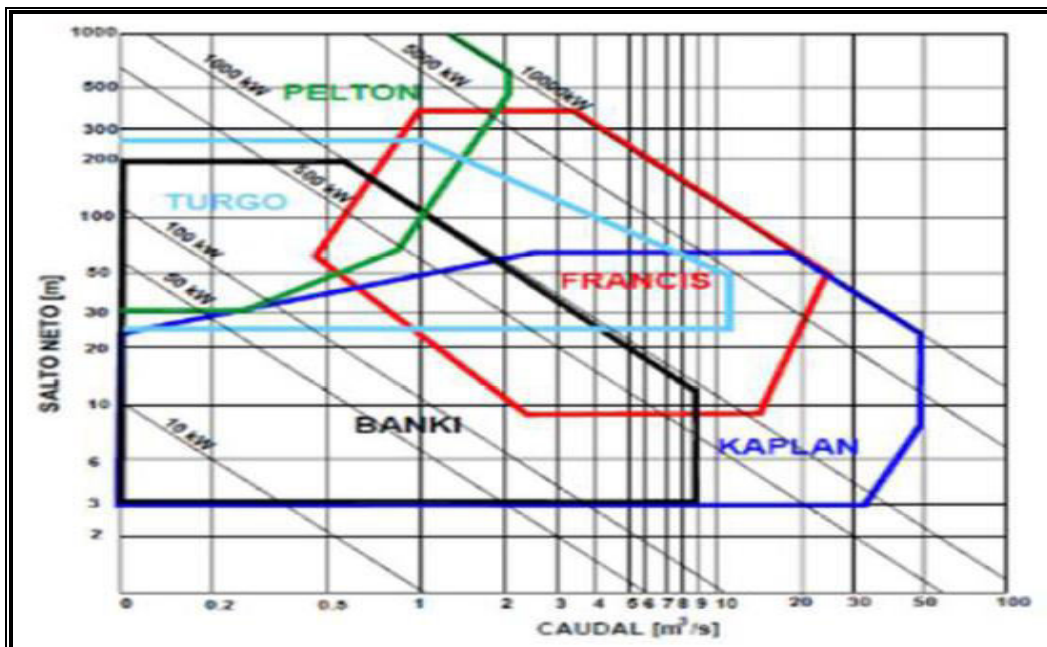


GRAFICO 1: Caudal y altura de salto

FUENTE: Polo Encinas M.

2.3.13. Curvas de rendimiento de turbinas hidráulicas

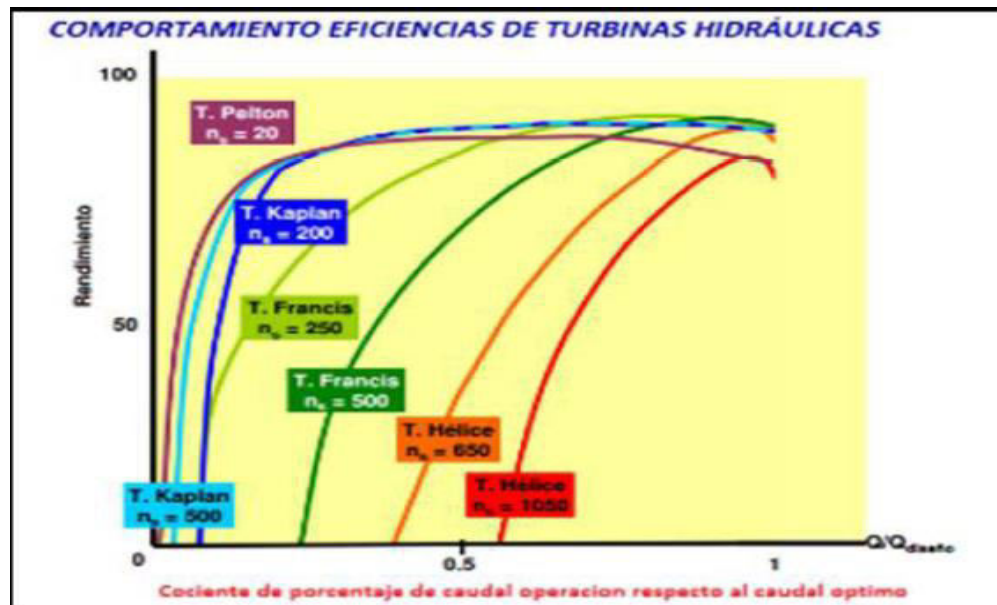


GRAFICO 2: Curvas de eficiencia total

FUENTE: Polo Encinas M.

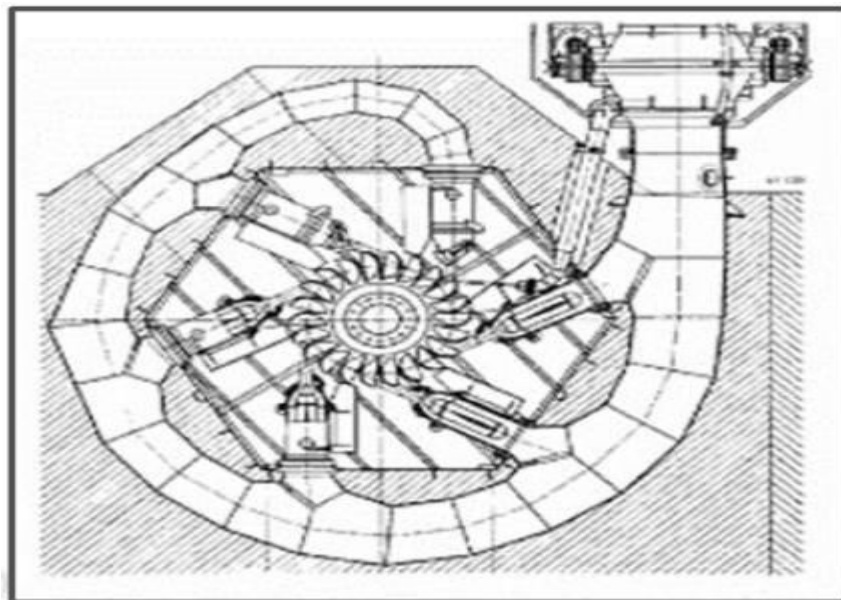


FIGURA 13: Diseño de una rueda Pelton

Fuente: Polo Encinas M.

El chorro se crea por medio de una tobera estacionaria convergente cónica, denominada inyector. Este inyector va dotado de una espiga central axialsimétrica capaz de moverse axialmente, la cual controla el área de paso. En la figura se puede apreciar, estando actuada cada una de ellas por una palanca. Se utiliza para variar la carga de la turbina. El inyector hace incidir la corriente tangencialmente al rotor, ocurriendo la deflexión del chorro sin concurrencia de una variación global de radio significativa y en media en un plano paralelo al eje del rotor y conteniendo al eje del inyector. Con el objeto de aumentar la potencia de una misma turbina, con un determinado salto hidráulico, se añaden más inyectores repartidos en la periferia, pudiendo llegar a 6 en turbinas de gran tamaño. Un número excesivo de inyectores ocasiona una pérdida de rendimiento por interferir mutuamente sus flujos, tanto al ser deflectados como al caer el agua. El rotor está constituido por un disco que soporta unas cucharas con doble cavidad, periódicamente dispuestas en su periferia. La mejora más significativa hecha por Pelton fue introducir las cucharas dobles simétricas. Mediante un nervio central rígido están diseñadas para deflectar hacia ambos lados del disco el chorro con las mínimas pérdidas posibles, tal y como indican las figuras, y con la simetría resultante evitar fuerzas laterales sobre el disco, aunque ocurre también una deflexión en el plano del disco. Estas cucharas están rebajadas en su extremo más externo al objeto de evitar interferir con la cuchara que recibe el chorro plenamente. Debido a la periódica entrada y salida en carga de las cucharas su resistencia a la fatiga es importante y el par ejercido sobre el eje oscila periódicamente una pequeña cantidad. El rotor puede ser de eje horizontal o vertical. Las verticales no suelen disponer de más de 2 inyectores. En las grandes instalaciones hidroeléctricas este tipo de turbinas solo es considerado para alturas mayores a 150 metros. Para aplicaciones en micro hidroenergía puede ser usada para saltos mucho menores. Por ejemplo una turbina Pelton

que gira a una alta velocidad de rotación puede ser usada para generar 1 Kw con alturas inferiores a 20 metros. Para potencias más grandes la velocidad de rotación disminuye y el rotor se hace muy grande. El principio de la turbina Pelton es convertir la energía cinética del chorro de agua en velocidad de rotación de la rueda o rotor. A fin de que esto se haga con la máxima eficiencia el agua debe abandonar las cucharas con una pequeña cantidad de energía cinética remanente. Debido al gradiente favorable de presión el flujo será laminar y muy aproximadamente ideal e incompresible, por lo que la fórmula de Bernoulli aplicada entre la tubería de llegada en la cual existe una altura neta H_n y la sección de salida a la atmósfera ($P = 0$) nos permite predecir la velocidad de salida

2.3.14 Clasificación según el número específico de revoluciones.

Número de Revoluciones Especifico de Potencia N_s : Es el número específico de revoluciones a que giraría una turbina para que con un salto de 1 metro, genere una potencia de 1 HP o 1 Kw

$$N_s = \frac{N\sqrt{P}}{H_n^{5/4}}$$

Donde:

N_s = Número de revoluciones específico de potencia

N = Número de revoluciones (rpm)

P = Potencia (HP)

H = Altura (m)

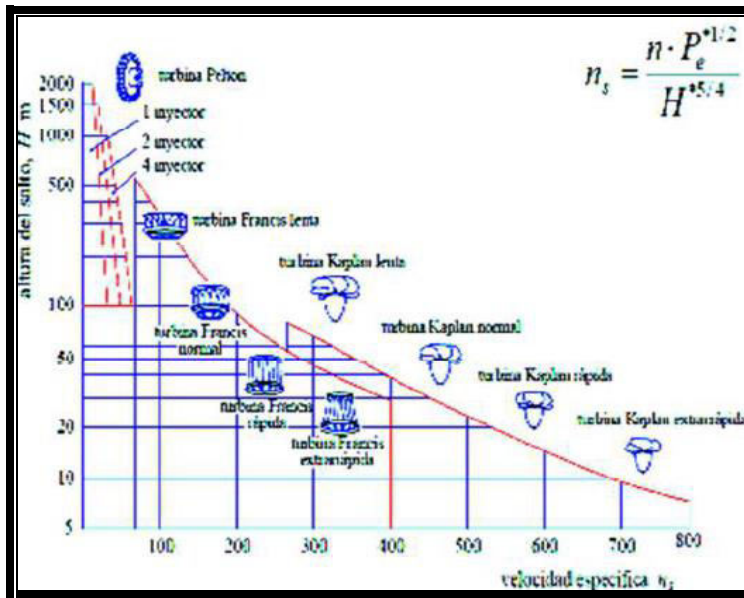


GRAFICO 3: Selección de una turbina hidráulica por medio del número específico
Fuente: Polo Encinas, M.

Se define N_s como el número de revoluciones de una turbina de 1 HP o kW de potencia y altura o salto de 1 m, tiene el mismo rendimiento hidráulico que otra turbina semejante de potencia (HP) o (kW), bajo un salto (H_n) en metros, girando a N rpm. Número de Revoluciones Específico de Caudal N_q : Es el número específico de revoluciones por minuto a la que giraría una turbina para evacuar $Q= 1 \text{ m}^3/\text{s}$ bajo una salto de $H= 1\text{m}$, con el máximo rendimiento posible. Su expresión se puede deducir de las relaciones de semejanza de turbinas entre caudales y revoluciones por minuto.

$$N_q = \frac{N\sqrt{Q}}{H^{3/4}}$$

Donde:

N_q = Número específico de revoluciones de caudal

N = Número de revoluciones (RPM)

Q = Caudal (m^3/s)

H = Altura (m)

El N_q , es el más usado, porque los datos del problema generalmente suelen ser, el caudal Q y el salto neto de H , y no la potencia. Para calcular N_s es preciso determinar previamente la potencia fijando un rendimiento global que no se conoce, y que varía en cada salto con el caudal y con la velocidad. La ventaja de N_q frente al N_s , radica en que no se basa en hechos hipotéticos, sino sobre datos que se pueden determinar exactamente antes de construir la turbina.

Estas velocidades específicas son de gran importancia para elegir el tipo de turbina, como se muestra en los gráficos.

$2 < N_s < 30$	Peltón de un inyector	$0.6 < N_q < 9$
$30 < N_s < 60$	Peltón de varios inyectores	$9 < N_q < 18$
$60 < N_s < 200$	Francis lenta	$18 < N_q < 60$
$N_s = 200$	Francis normal	$N_q = 60$
$200 < N_s < 450$	Francis rápida	$60 < N_q < 140$
$450 < N_s < 500$	Francis de varios rodets, y hélice	$140 < N_q < 152$
$500 < N_s < 1350$	T. hélice y Kaplan	$152 < N_q < 400$

TABLA 5: Valores de n_q y n_s para diversos tipos de turbinas.

Fuente: Claudio Mataix

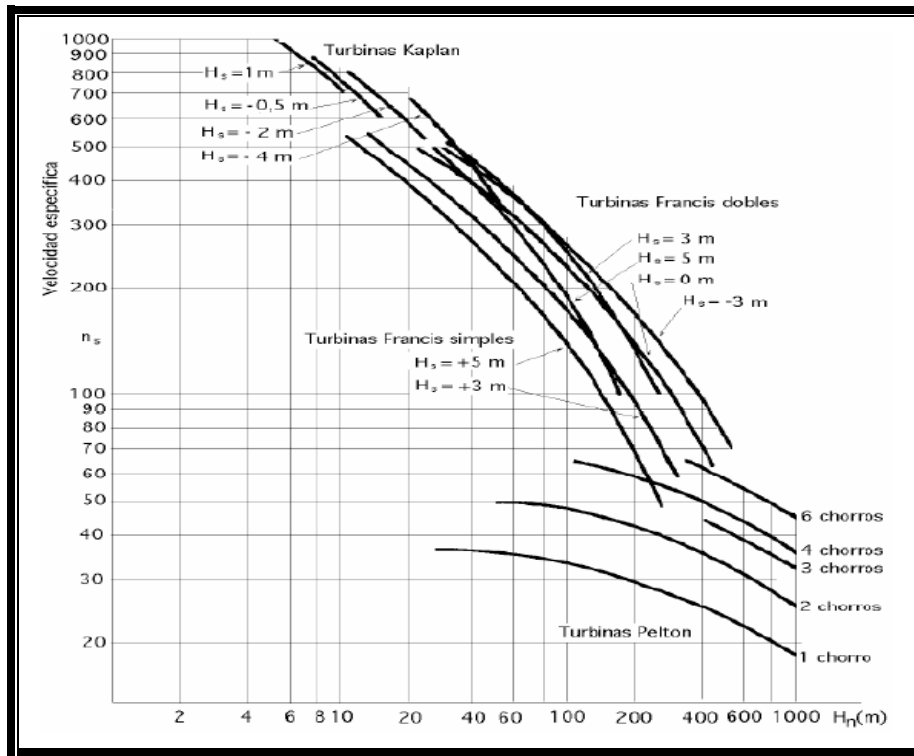


GRAFICO 4: Selección de una Turbina Hidráulica en función a n_s y H_n .

Fuente: Fernández p.

Las Turbinas Pelton son:

- De presión, por ser ésta cte. en el rodete.
- De chorro libre, este está a la presión atmosférica.
- De impulsión.
- De admisión parcial, el líquido ataca sólo una parte del rodete.
- Tangenciales, el líquido ataca tangencialmente al rodete.
- De acción, el agua y el rodete tienen el mismo sentido.

Su utilización es idónea en saltos de gran altura (alrededor de 200 m y mayores), y caudales relativamente pequeños (hasta 10 m³/s). Lo más característico son sus álabes en forma de las cucharas

2.3.15. Componentes

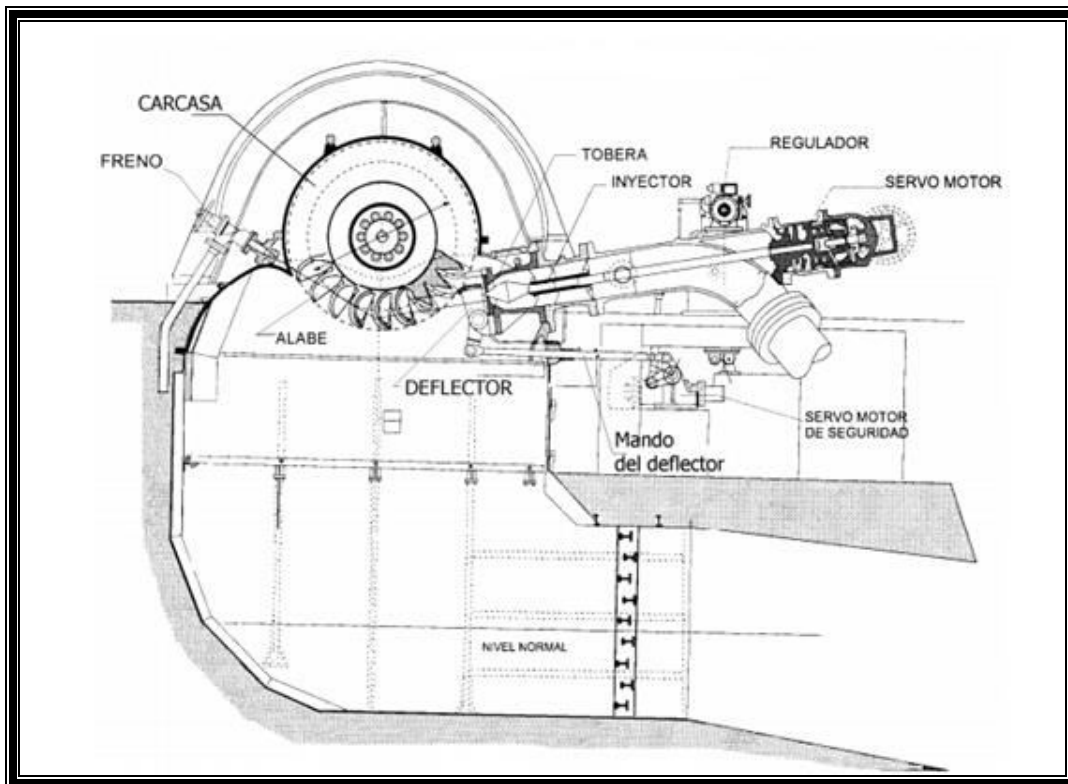


FIGURA 14: Componentes de una turbina Pelton

Fuente: Fernández p.

2.3.16 Funcionamiento de una turbina Pelton

La sucesiva transformación de la energía se efectúa del modo siguiente:

- La energía potencial gravitatoria del agua embalsada (energía de presión hasta los orificios de las toberas) se convierte, salvo pérdidas, en energía cinética al salir el agua a través de dichos orificios en forma de chorros libres (Ecuación de Bernoulli)
- Se dispone de la máxima energía cinética en el momento en que el agua incide tangencialmente sobre el rodete, empujando a los álabes y obteniéndose el trabajo mecánico deseado

· Las formas cóncavas de las cucharas hacen cambiar la dirección del chorro de agua, saliendo éste, ya sin energía apreciable, por los bordes laterales sin ninguna incidencia posterior sobre los álabes sucesivos. De este modo, el chorro de agua transmite su energía cinética al rodete, donde queda transformada en energía mecánica

2.3.17 Características de cada tipo de turbina

Como resumen se presentan las ventajas de cada tipo de turbina:

TURBINA	PELTON	TURGO	BANKI	FRANCIS	KAPLAN
INVENTOR	LESTER PELTON / 1880	ERIC CREWDSO N / 1920	MICHEL / BANKI	JAMES FRANCIS/18 48	V.KAPLAN/19 12
CAUDAL(m3/s)	0.05-50	0.025-10	0.025-5	1-500	1000
ALTURA (m)	50-1300	30-300	1.0-50	30-750	5.0-80

TABLA 6: Turbinas de Acción.

Fuente: Polo Encinas M.

TURBINA PELTON	Robusta
	Menos peligro de erosión de los alabes
	Reparaciones más sencillas
	Mejores rendimientos de cargas parciales
TURBINA FRANCIS	Menor peso
	Mayor rendimiento máximo
	Alternador más económico
	Aprovecha mayor desnivel debido al tubo de aspiración
TURBINA KAPLAN	Mejores rendimientos a cargas parciales
	Mejores rendimientos con alturas de saltos

	variables
	Menos obra de fábrica que las hélices de poleas fijas
	Alternador más barato
TURBINA CON HELICES	Buen rendimiento máximo
	Más económicas que las Kaplan
	Gran admisión con saltos pequeños
	Alternador barato

TABLA 7: Ventajas para alturas medias de salto.

Fuente: Polo Encinas M.

2.4 ESTUDIO TEÓRICO DE LAS TURBINAS PELTON

El rodete pelton será diseñado para un recurso con las siguientes características:

- Altura neta (H_n) de 247 m.
- Caudal (Q) de $0.135 \text{ m}^3/\text{s}$

2.4.1 La potencia Hidráulica

La máxima potencia que se puede obtener con un salto de agua H y con un caudal Q es:

$$\boxed{P_h = \rho g H_n Q} \dots\dots\dots (1)$$

Donde:

ρ : Densidad del agua (kg/m^3)

g: gravedad (m/s²)

Q: Caudal m³/s

H_n: Altura neta

2.4.2 Calculo de Velocidades

2.4.2.1 Velocidad del chorro teórica (ideal)

$$c_0 = \sqrt{2gH_n} \dots\dots\dots (2)$$

C₀ = velocidad del chorro.

H_n = altura neta.

g = aceleración de la gravedad.

2.4.2.2 Velocidad tangencial teórica (ideal)

$$u = \frac{1}{2} \sqrt{2gH_n} \dots\dots\dots (3)$$

u = velocidad circunferencial.

H_n = altura neta.

g = aceleración de la gravedad.

2.4.2.3 Velocidad relativa teórica (ideal)

Así mismo:

$$\boxed{W_1 = C_0 - u} \dots\dots\dots (4)$$

$$\boxed{W_1 = W_2} \dots\dots\dots (5)$$

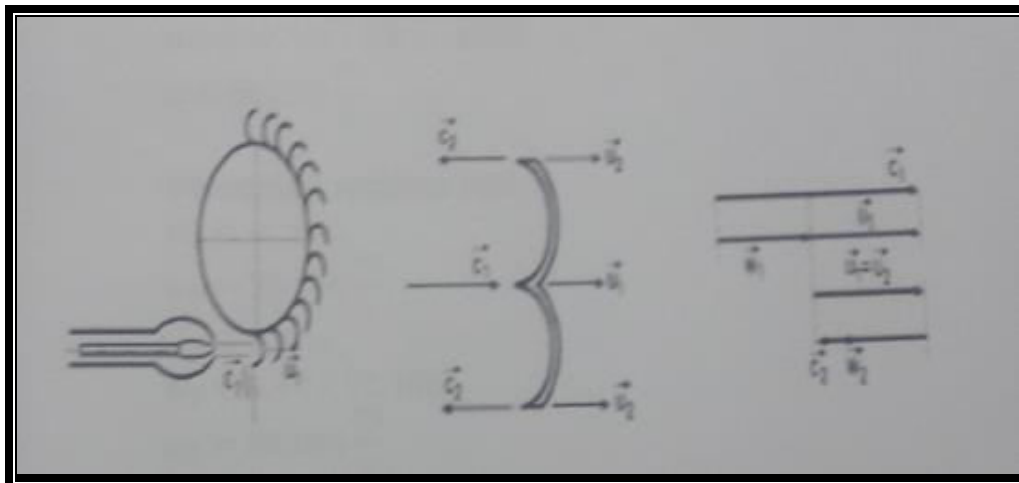


FIGURA 15: Triángulo de Velocidades teóricos

FUENTE: Pedro Fernández

La velocidad de entrada de la cuchara, las velocidades absoluta (C_2) y circunferencial (u_2) tienen la misma dirección y sentido; por lo tanto se puede escribir:

$$\boxed{W_2 = C_2 - u_2} \text{ Y } \boxed{C_{2u} = C_2} \dots\dots\dots (5)$$

En las relaciones anteriores se ha despreciado la componente de choque, al considerar nulo el ángulo β_2 (en la práctica no es rigurosamente nulo).

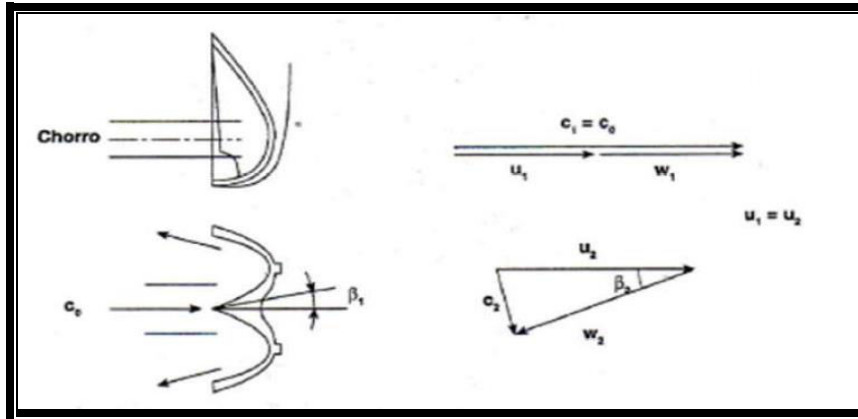


FIGURA 16: Triángulo de Velocidades

FUENTE: Ferrada Sepulveda

A la salida, la dirección de la velocidad relativa (W_2) está definida por el ángulo β_2 (8° a 15°) y se tiene:

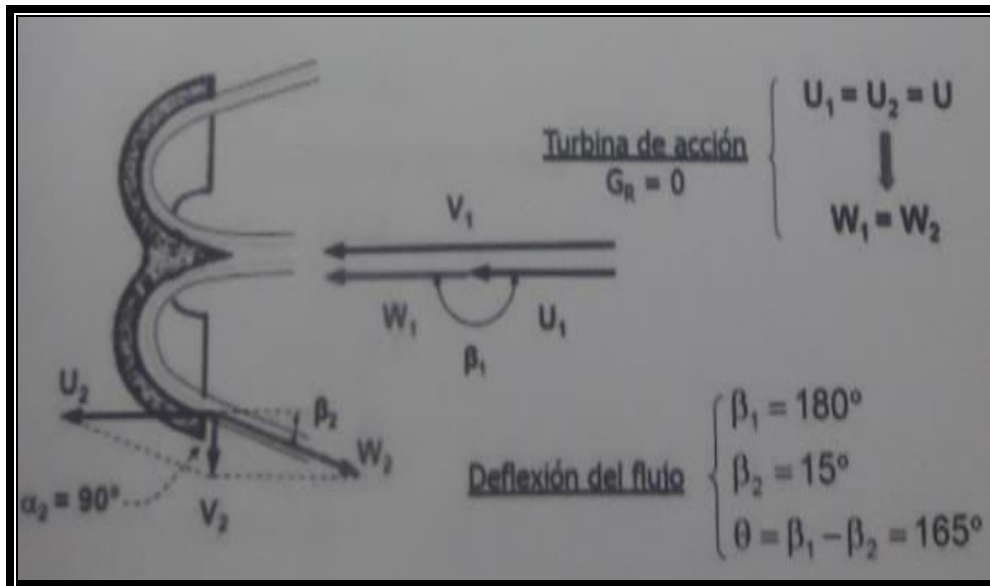


FIGURA 17: Triángulo de Velocidades real

FUENTE: Pedro Fernández.

$$C_{u2} = u_2 - W_2 \cos \beta_2$$

Velocidad del chorro real

De la Figura anterior se observa que la velocidad de entrada (C_2) es igual a la del chorro,

$$C_2 = C_0 = k_{co} \sqrt{2gH_n} \dots\dots\dots (6)$$

$$k_{co} = 0.95 \text{ a } 0.98$$

k_{co} = coeficiente de tobera.

C_0 = velocidad del chorro.

H_n = altura neta.

g = aceleración de la gravedad.

Velocidad tangencial real

Para determinar la velocidad tangencial se toma la ecuación: u puede expresarse como:

$$u = k_u \sqrt{2gH_n} \dots\dots\dots (7)$$

$$K_u = 0.45 - 0.49$$

u = velocidad circunferencial.

K_u = coeficiente de velocidad

H_n = altura neta.

g = aceleración de la gravedad.

Además,

$$u = u_1 = u_2$$

Velocidad relativa real

Asi mismo:

$$W_1 = W_2$$

$W_2 = (0.96 - 0.98) W_1$ a causa de la fricción

2.4.3 cálculo de perdidas

Con los datos obtenidos podemos calcular las perdidas hidráulicas

2.4.3.1 Perdidas del inyector

$$H_{ri} = \frac{(c_o \text{ teorico})^2 - (c_o \text{ real})^2}{2g} \dots\dots\dots (8)$$

H_{ri}= perdida del inyector

C_o= velocidad del chorro teorico y real

g= gravedad

2.4.3.2 Perdidas en los alabes

$$H_{rr} = \frac{W_1 - W_2}{2g} \dots\dots\dots (9)$$

H_{rr}= perdida de los alabes

W₁= velocidad relativa

g= gravedad

2.4.3.3 Perdidas por velocidad de salida

$$H_{rs} = \frac{(c_2)^2}{2g} \dots\dots\dots (10)$$

H_{rs}= perdida de velocidad de salida

g= gravedad

c₂= velocidad de salida del fluido

2.4.3.4 Perdidas hidráulica total

$$H_r = H_{rr} + H_{rs} + H_{ri} \dots\dots\dots (11)$$

2.4.4 Potencia, Torque, Rendimiento

2.4.4.1 fuerza del chorro

De acuerdo al principio de cambio de la cantidad de movimiento, la fuerza del chorro está dada por:

$$F_{ch} = \rho Q (w_2 + w_1 \cos \beta_2)$$

$$w_1 = k_m w_2$$

“ k_m ” se denomina coeficiente de cuchara (depende del espesor de la capa de agua, terminación de la cuchara, tipo de material). Su valor varía entre 0.88 y 0.92. De esta forma, la fuerza del chorro quedará expresada por.

$$F_{ch} = \rho Q (1 + k_m \cos \beta_2)$$

Combinando las ecuaciones anteriores se obtiene:

$$F_{ch} = \rho Q (k_{co} \sqrt{2gH_n} - u) (1 + k_m \cos \beta_2) \dots\dots\dots (12)$$

F_{ch} = fuerza del chorro

ρ = densidad

Q = caudal

k_{co} =coeficiente de la tobera

k_m = coeficiente de la cuchara

u =velocidad circunferencial

H_n = altura neta

g = aceleración de la gravedad

β_2 = Angulo de salida

2.4.4.2 Potencia

La expresión representa la fuerza ejercida por el chorro sobre la rueda, la cual, gira con velocidad u . De esta forma, la fuerza máxima cuando $u = 0$ (en la partida) y mínima cuando C_0 tienda a u .

La potencia está definida por la fuerza y la velocidad.

$$N = F_{ch} \times u = \rho Q \left(k_{co} \sqrt{2gH_n} - 1 \right) \left(1 + k_m \cos \beta_2 \right) u$$

Combinando y ordenando se obtiene:

$$P = 2\gamma Q k_u h_n (k_{co} - k_u) (1 + k_m \cos \beta_2)$$

P = Potencia

γ = densidad especifica del agua

Q = caudal

K_{co} = coeficiente de la tobera (velocidad absoluta)

K_m = coeficiente de la cuchara

K_u =coeficiente de velocidad tangencial

H_n = altura neta

g = aceleración de la gravedad

β_2 = Angulo de salida del fluido

2.4.4.3 Torque

El torque es igual a:

$$T = \frac{N}{\omega} = \frac{N(60)}{2\pi n} = \frac{N(\frac{D}{2})}{u}$$

Combinando se obtiene:

$$T = \gamma Q D \sqrt{\frac{H_n}{2g}} (k_{co} - k_u) (1 + k_m \cos \beta_2) \dots\dots\dots (14)$$

2.4.4.4 Rendimiento

Con la potencia, altura neta y caudal se obtiene el rendimiento. Cabe hacer notar que en este análisis teórico se han considerado solo las pérdidas hidráulicas, de esta forma el rendimiento que se determinara es el manométrico (hidráulico).

$$n_m = \frac{P}{\gamma * Q * H_n} \dots\dots\dots (15)$$

n= rendimiento

N= potencial

Q= caudal

γ = densidad especifica del agua

H_n = altura neta

Reemplazando en las ecuaciones anteriores se obtiene:

$$n_m = 2k_u (k_{co} - k_u) (1 + k_m \cos \beta_1)$$

Pero en el rendimiento máximo se tiene:

$$[n_m]_{\max} = \frac{\partial n_m}{\partial k_u} = 0 \longrightarrow k_u = \frac{k_{co}}{2}$$

La relación indica que el rendimiento (también la potencia) es máxima, cuando:

$$u = \frac{C_0}{2}$$

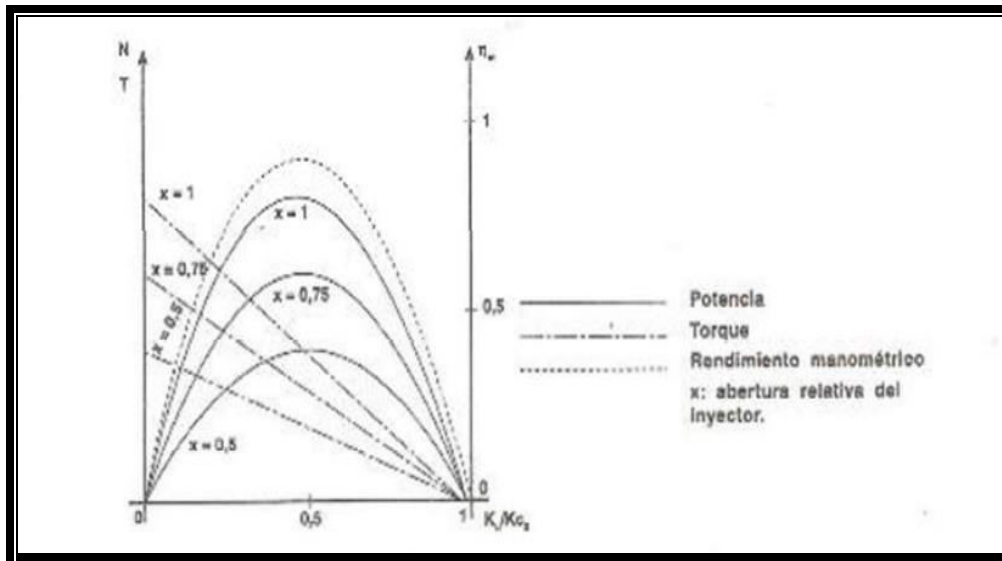


GRAFICO 5: turбина Pelton Curvas Características

Fuente: Rodríguez R.

Sin embargo, la práctica indica que la velocidad óptima es algo menor, comprendida entre 0.41 y 0.6 C_0 (valor práctico $u = 0.45 C_0$). Los resultados teóricos se resumen en las curvas de la Fig.16.

Del grafico se observa que la velocidad de embalsamiento teórico es igual a la velocidad del chorro, es decir, $k_u = kc_0$ Sin embargo, la práctica demuestra que es algo menor ($n_{embalsamiento} = 1.8n_{optima}$)

2.4.5 Calculo del diámetro del chorro

Para determinar el diámetro del chorro utilizamos la ecuación:

$$d = \sqrt{\frac{4 \times Q}{\pi \times c_o}} \dots\dots\dots (16)$$

d= diámetro del chorro.

C_o= velocidad del chorro.

Q= caudal.

.

Se han estudiado ciertos parámetros para turbinas pelton que permiten determinar el desempeño de la turbina diseñada esto son la relación de diámetros (δ) y el numero especifico de revoluciones es (n_s) que se muestra en la siguiente ecuación.

$$\delta = \frac{d}{D} \dots\dots\dots (17)$$

d: diámetro del chorro

D: diámetro pelton

2.4.6 Calculo del diámetro del pelton

Para calcular el diámetro pelton utilizamos la ecuación:

$$\frac{d}{D} = \frac{n_s}{288 \cdot \sqrt{k_{co} \cdot \eta}} \dots\dots\dots (18)$$

Donde,

D= diámetro pelton

d= diámetro chorro

k_{co}=coeficiente de tobera

η= rendimiento

2.4.7 Calculo del diámetros exteriores

Para determinar los diámetros exteriores como de puntas utilizamos las siguientes ecuaciones.

$$D_p = D + 2 \left(\frac{7}{6} d \right) \dots\dots\dots (19)$$

$$D_e = D_p + d \dots\dots\dots (20)$$

D_p=diámetro de puntas

D_e=diámetro exterior

d=diámetro del chorro

D=diámetro pelton

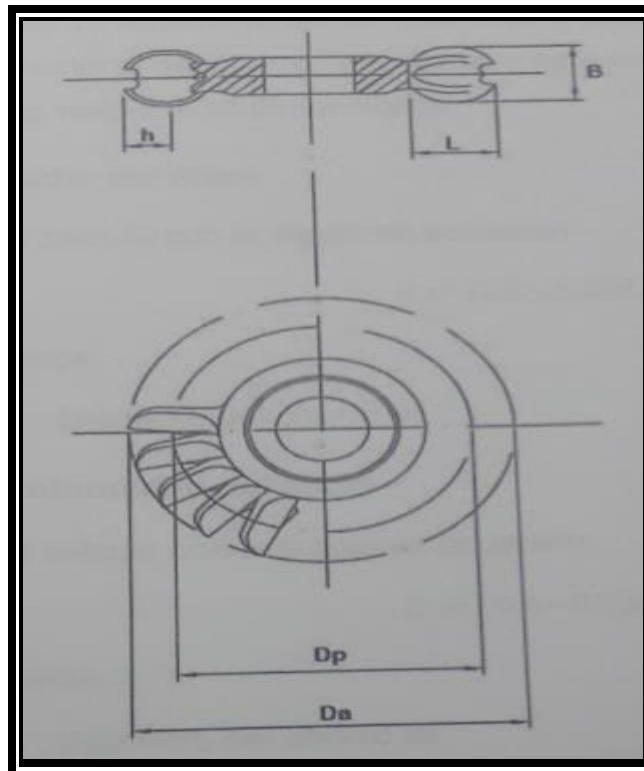


GRAFICO 6: Diámetro Pelton del Rodete

Fuente: Claudio Mataix

2.4.8 Calculo del número de cucharas y paso máximo

Para determinar el número de cucharas se utiliza la siguiente ecuación:

$$z = \frac{D * \pi}{2d} \dots\dots\dots (21)$$

Z= número de cucharas

d=diámetro del chorro

D=diámetro pelton

El pasó angular esta dado al número de cucharas y se determina por la siguiente ecuación:

$$\theta = \frac{2\pi}{z} \dots\dots\dots (22)$$

La arista de entrada del alabe es una recta paralela al eje de rotación, el chorro es un cilindro constituido por partículas de agua que poseen una velocidad

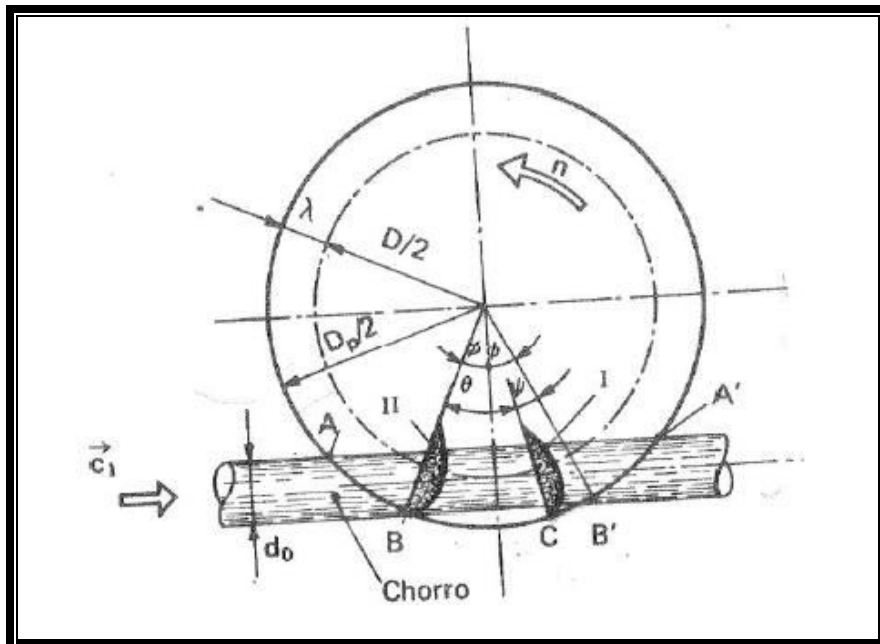


GRAFICO 7: Paso máximo entre cucharas

Fuente: Ferrada Sepúlveda .

2.4.9 Velocidad Especifica

De las leyes de semejanza de las maquinas hidráulicas que definen similitud geométrica cinética y dinámica se deduce la relación analítica para la velocidad especifica. La semejanza geométrica

requiere una razón común entre dimensiones correspondientes, La cinemática requiere una razón común para las fuerzas correspondientes.

La velocidad específica es aquella velocidad a la cual gira un modelo geoméricamente semejante a la turbina real o prototipo

Se tiene la ecuación para la velocidad específica de revoluciones para poder calcular el diámetro pelton.

$$n_s = \frac{N \sqrt{P}}{H n^{5/4}} \dots\dots\dots (23)$$

n_s = Velocidad especifica

n =velocidad sincronizada en (RPM)

P = potencia en (HP)

H_n = altura neta

Si la relación de diámetros es excesivamente pequeña sucede que el flujo de agua va tener que recorrer una trayectoria demasiado largo entre la salida del inyector y el rodete. Por otro lado al disminuir n_s se aumenta el número de cuchara lo que puede producir que la distancia que separa las cucharas sea muy pequeña lo que no es posible ni deseable.

2.4.10 Eficiencia Total de la Turbina Pelton

El rendimiento que garantizan los fabricantes de turbinas, está basado en el «International Code for the field acceptance tests of hydraulic turbines» (publicación IEC-60041) o, cuando es aplicable, en el «International Code for model acceptance tests» (publicación IEC-60193). Hay otras formas también de obtener el rendimiento de las turbinas. El rendimiento se define como la relación entre la potencia mecánica transmitida al eje de la turbina y la potencia hidráulica correspondiente al caudal y salto nominales, tal como se define en la ecuación. Hay que hacer notar que en las turbinas de acción, la altura de salto se mide hasta el punto de impacto del chorro que, para evitar que el rodete quede sumergido en épocas de riadas, estará siempre por encima del nivel de la lámina de agua en el canal de descarga, con lo que se pierde una cierta altura con respecto a las turbinas de reacción, en las que, como veremos, el plano de referencia es la propia lámina de agua.

Dadas las pérdidas que tienen lugar en el conjunto de la turbina de reacción, el rodete solo utiliza una altura H_u , inferior al salto neto H_n . Estas pérdidas son esencialmente pérdidas de fricción y tienen lugar en la cámara espiral, en los alabes directores y del rodete, y sobre todo en el tubo de aspiración o difusor. El difusor tiene como misión recuperar el mayor porcentaje posible de la pérdida de energía cinética correspondiente a la velocidad del agua al salir del rodete.

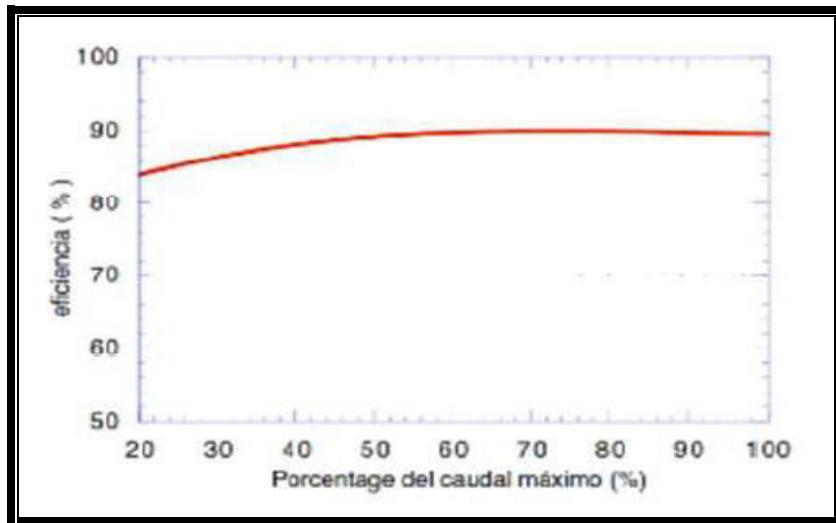


GRAFICO 8: Eficiencia de la turbina Pelton

FUENTE: Rodríguez R.

Su función es especialmente crítica en los rodets de alta velocidad específica, en los que las pérdidas por este concepto podrían llegar a alcanzar el 50% del salto (mientras que en las Francis lentas apenas representan el 3%-4%). La columna de agua que acciona la turbina equivale al salto neto menos la presión equivalente a la energía cinética disipada en el tubo de aspiración, cuantificada por la expresión $V_e^2/2g$ (siendo V_e la velocidad media a la salida del tubo de aspiración).

2.4.11 Dimensiones de las cucharas o alabes

Las dimensiones de las cucharas o alabe son proporcionales al diámetro del chorro, y en base a este se hacen los cálculos para las respectivas dimensiones.

2.4.11.1 Ancho del alabe:

Se calcula con la siguiente ecuación:

$$B = (2.85)d \quad (24)$$

Donde:

d= diámetro del chorro m

2.4.11.2 Profundidad del alabe

Se calcula con la siguiente ecuación:

$$t = (0.9)d \quad (25)$$

Donde:

d= diámetro del chorro m

2.4.11.3 Largo del alabe

Se calcula con la siguiente ecuación:

$$h = (2.4)d \quad (26)$$

Donde:

d= diámetro del chorro m

2.4.11.4 Ancho en el destalonamiento

Se calcula con la siguiente ecuación:

$$a = (1.2)d \dots\dots\dots (27)$$

Donde:

d= diámetro del chorro m

2.4.11.5 Punto de cruce de las trayectorias de los puntos exteriores de dos cucharas contiguas

Se calcula con la siguiente ecuación:

$$k = 0.135D \dots\dots\dots (28)$$

Donde:

D= diámetro pelton m

2.4.11.6 Espesor del alabe o cuchara

Se calcula con la siguiente ecuación:

$$X = k - t \dots\dots\dots (29)$$

Donde:

K= Punto de cruce de las trayectorias de los puntos exteriores de dos cucharas contiguas.

t= Profundidad de la cuchara

- **Medidas en el plano del alabe**

$$h_1 = 0.175d$$

$$h_2 = 1.175d$$

d= diámetro chorro

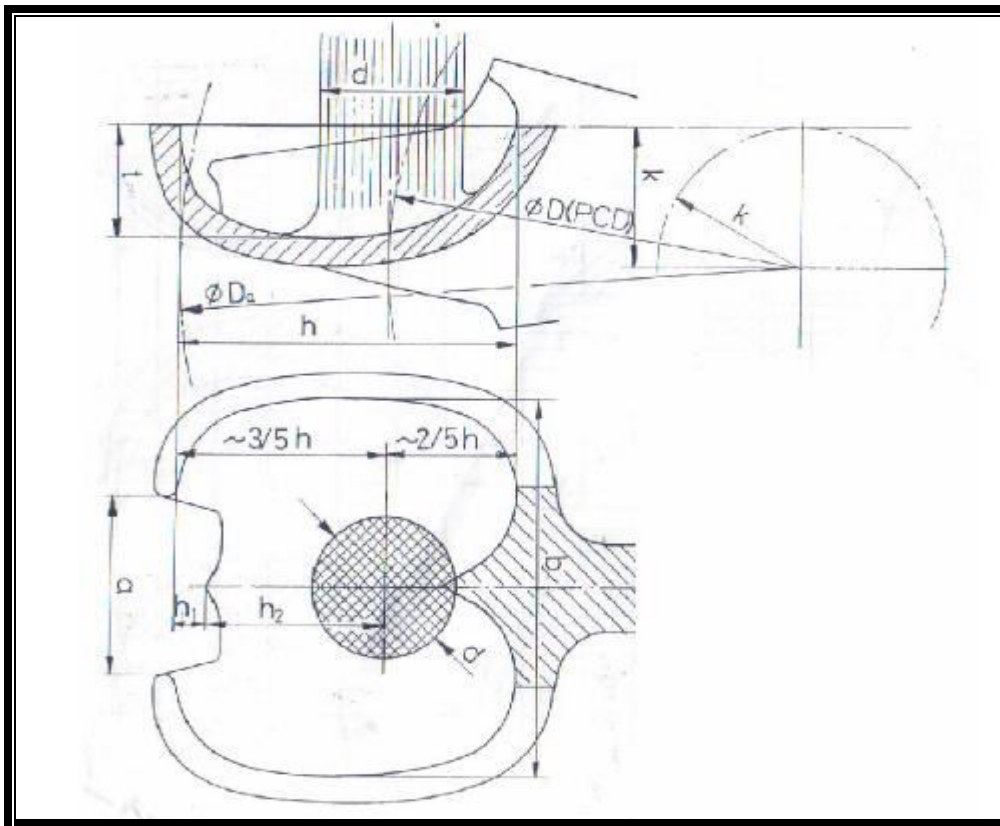


GRAFICO 9: Dimensiones de las cucharas

FUENTE: Fernández p.

2.4.11.7 Ángulos de las cucharas

$$\beta_1 = 8^\circ - 12^\circ$$

$$\beta_2 = 7^\circ - 11^\circ$$

$$\beta_3 = 4^\circ - 6^\circ$$

$$\beta_4 = 8^\circ - 10^\circ$$

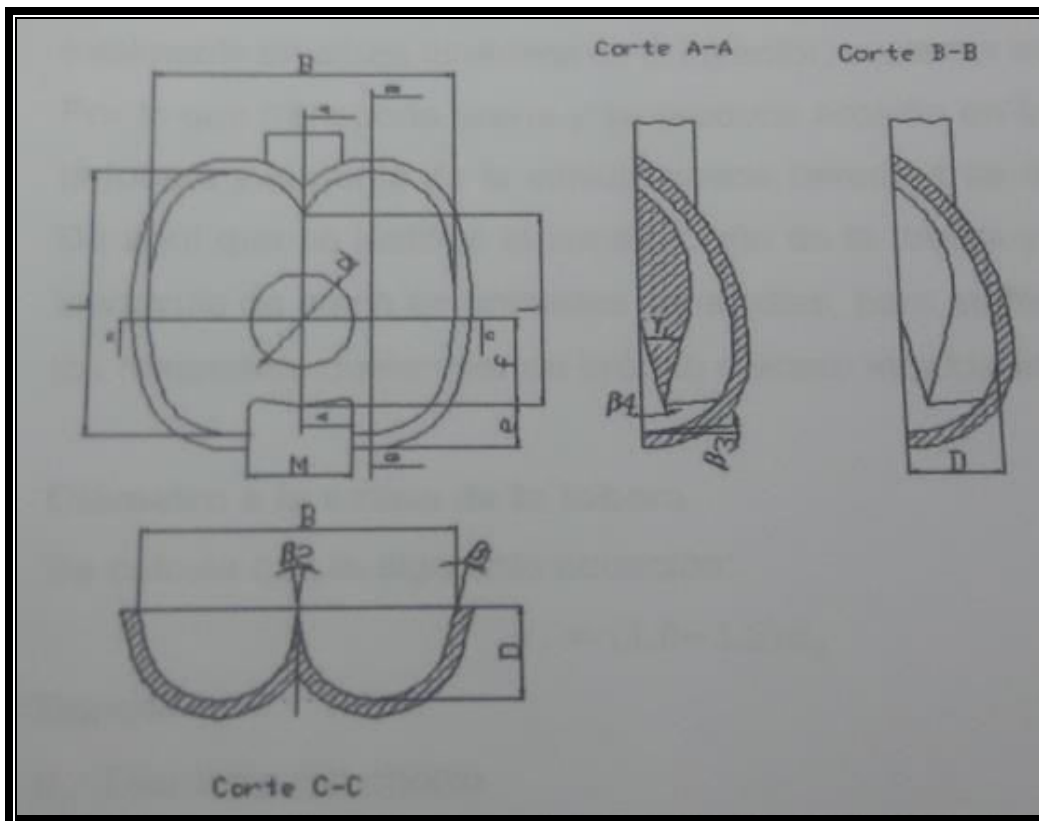


GRAFICO 10: Dimensiones de las cucharas

FUENTE: Claudio mataix

2.4.12 Dimensiones del inyector

2.4.12.1 Diámetro de la salida de la tobera

Se calcula con la siguiente ecuación:

$$dt = 1.1d \dots\dots\dots (30)$$

Donde:

d= diámetro chorro

2.4.12.2 Ancho de la aguja

Se calcula con la siguiente ecuación:

$$dt = 1.42d \dots\dots\dots (31)$$

Donde:

d= diámetro chorro

2.4.12.3 Carrera de la aguja

Se calcula con la siguiente ecuación:

$$x = 0.5d \dots\dots\dots (32)$$

Donde:

d= diámetro chorro

2.4.12.4 Eje de la válvula aguja

Se calcula con la siguiente ecuación:

$$\boxed{dv = 0.58d} \dots\dots\dots (33)$$

Donde:

d= diámetro chorro

2.4.12.5 Longitud de la válvula aguja

Se calcula con la siguiente ecuación:

$$\boxed{b = 3.3d} \dots\dots\dots (34)$$

Donde:

d= diámetro chorro

2.4.12.6 Diámetro de ingreso de la tobera

Se calcula con la siguiente ecuación:

$$\boxed{d_1 = 2.5d} \dots\dots\dots (35)$$

Donde:

d= diámetro chorro

2.4.12.7 Ángulos de la válvula aguja

$$\alpha_0 = 40^\circ - 60^\circ$$

$$\alpha_1 = 60^\circ - 90^\circ$$

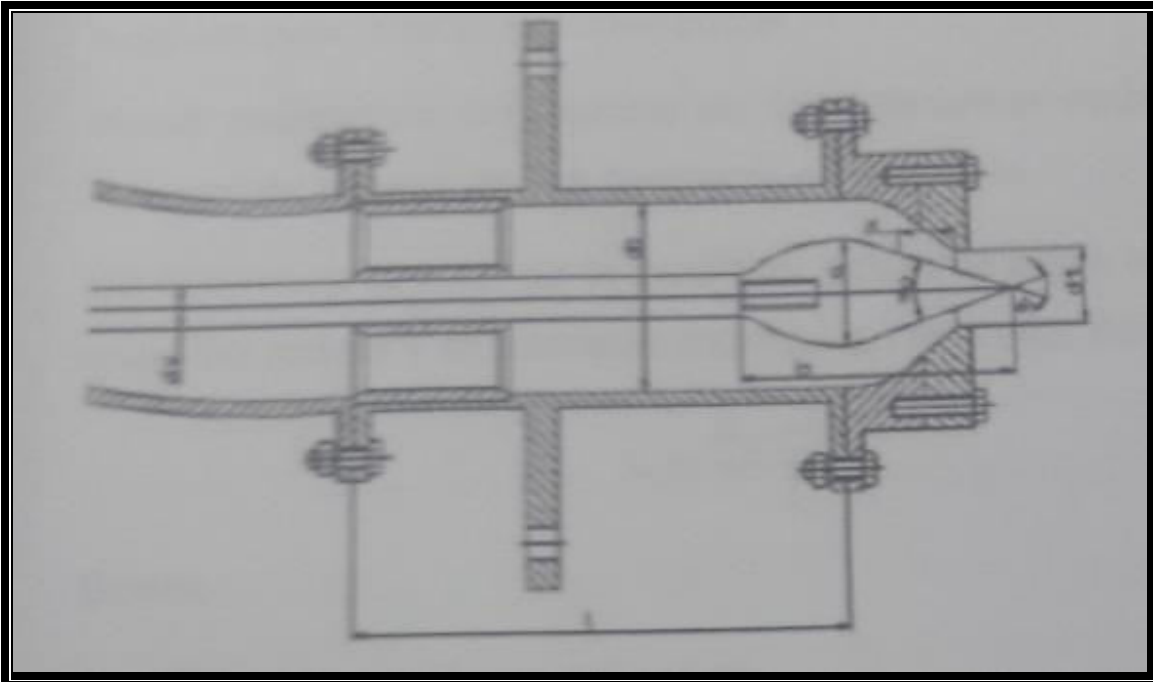


GRAFICO 11: Dimensiones del inyector

FUENTE: Claudio mataix

CAPITULO III

3. CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS DEL DISEÑO DEL PROYECTO

3.1 Evaluación de la turbina pelton

3.1.1 La potencia Hidráulica

La máxima potencia que se puede obtener con un salto de agua H y con un caudal Q es:

$$P_h = \rho g H_n Q$$

Donde:

ρ : Densidad del agua (kg/m³)

g: gravedad (m/s²)

Q: Caudal m³/s

H_n: Altura neta

3.1.2 Calculo de Velocidades

Velocidad del chorro teórica

$$c_0 = \sqrt{2gH_n}$$

$$c_0 = \sqrt{2 * 9.8 * 247}$$

$$c_0 = 69.57 \text{ m/s}$$

C_0 = velocidad del chorro.

H_n = altura neta.

g = aceleración de la gravedad.

Velocidad tangencial teorica

$$u = \frac{1}{2} \sqrt{2gH_n}$$

$$u = \frac{1}{2} \sqrt{2 * 9.8 * 247}$$

$$u = 34.78 \text{ m/s}$$

u = velocidad circunferencial.

H_n = altura neta.

g = aceleración de la gravedad.

Velocidad relativa teorica

Asi mismo:

$$W_1 = c_0 - u$$

$$W_1 = 69.57 - 34.78$$

$$W_1 = 34.79 \text{ m/s}$$

$$W_1 = W_2$$

$$W_2 = 34.79 \text{ m/s}$$

$$c_2 = 0.0 \text{ m/s}$$

Velocidad del chorro real

$$c_2 = c_0 = k_{co} \sqrt{2gH_n}$$

$$k_{co} = 0.95 \text{ a } 0.98$$

k_{co} = coeficiente de tobera.

C_0 = velocidad del chorro.

H_n = altura neta.

g = aceleración de la gravedad.

$$c_0 = 0.97 \sqrt{2 \times 9.81 \times 247}$$

$$c_0 = 67.52 \text{ m/s}$$

Velocidad tangencial real

u Puede expresarse como:

$$u = k_u \sqrt{2gH_n}$$

u = velocidad circunferencial.

K_u = coeficiente de velocidad

H_n = altura neta.

g = aceleración de la gravedad.

$$u = 0.478 \sqrt{2 \times 9.81 \times 247}$$

$$u = 33.27 \text{ m/s}$$

$$W_1 = W_2$$

Velocidad relativa real:

$W_2 = (0.96 - 0.98) W_1$ a causa de la fricción

$$W_1 = c_0 - u$$

$$w_1 = 67.52 - 33.27$$

$$w_1 = 34.25 \text{ m/s}$$

$$w_2 = 0.97 w_1$$

$$w_2 = 0.97 \times 34.25$$

$$w_2 = 33.22 \text{ m/s}$$

$$c_2 = 2 * u * \text{sen}(\beta_2 / 2)$$

$$c_2 = 2 * 33.27 * \text{sen}(15 / 2)$$

$$c_2 = 8.68$$

3.1.3 cálculo de perdidas

Con los datos obtenidos podemos calcular las perdidas hidráulicas

Perdidas del inyector

$$H_{ri} = \frac{(c_o \text{ teorico})^2 - (c_o \text{ real})^2}{2g}$$

$$H_{ri} = \frac{69.57^2 - 67.52^2}{2 * 9.8}$$

$$H_{ri} = 14.33\text{m}$$

Perdidas en los alabes

$$H_{rr} = \frac{W_1 - W_2}{2g}$$

$$H_{rr} = \frac{34.25 - 33.22}{2 * 9.8}$$

$$H_{rr} = 0.052\text{m}$$

Perdidas por velocidad de salida

$$H_{rs} = \frac{(c_2)^2}{2g}$$

$$H_{rs} = \frac{(8.68)^2}{2 * 9.8}$$

$$H_{rs} = 3.844\text{m}$$

Perdidas hidráulica total

$$H_r = H_{rr} + H_{rs} + H_{ri}$$

$$H_r = 0.052 + 3.844 + 14.33$$

$$H_r = 18.226\text{m}$$

3.1.4 Potencia, Torque, Rendimiento

$$F_{ch} = \rho Q (k_{co} \sqrt{2gH_n} - u) (1 + k_m \cos \beta_2)$$

F_{ch} = fuerza del chorro

ρ = densidad

Q = caudal

k_{co} =coeficiente de la tobera

k_m = coeficiente de la cuchara

u =velocidad circunferencial

H_n = altura neta

g = aceleración de la gravedad

β_2 = Angulo de salida

$$F_{ch} = 1000 \times 0.135 \left(0.97 \sqrt{2 \times 9.81 \times 247} - 33.27 \right) (1 + 0.90 \cos 15)$$

$$F_{ch} = 8644.79N$$

$$P = 2\gamma Q k_u h_n (k_{co} - k_u) (1 + k_m \cos \beta_2)$$

P = Potencia

γ = densidad especifica del agua

Q = caudal

K_{co} = coeficiente de la tobera(velocidad absoluta)

K_m = coeficiente de la cuchara

K_u =coeficiente de velocidad tangencial

H_n = altura neta

g = aceleración de la gravedad

β_2 = Angulo de salida del fluido

$$P = 2 \times 9810 \times 0.135 \times 0.478 \times 247 (0.97 - 0.478) (1 + 0.90 \cos 15)$$

$$P = 287.61 \text{KW}$$

El torque es igual a:

$$T = \frac{N}{\omega} = \frac{N(60)}{2\pi n} = \frac{N(\frac{D}{2})}{u}$$

Combinando se obtiene:

$$T = \gamma Q D \sqrt{\frac{H_n}{2g}} (k_{co} - k_u) (1 + k_m \cos \beta_2)$$

$$T = 9810 \times 0.135 \times 0.552 \sqrt{\frac{247}{2 \times 9.81}} (0.97 - 0.478) (1 + 0.90 \cos 15)$$

$$T = 2385.57N$$

Con la potencia, altura neta y caudal se obtiene el rendimiento. Cabe hacer notar que en este análisis teórico se han considerado solo las pérdidas hidráulicas, de esta forma el rendimiento que se determinara es el manométrico (hidráulico).

$$n_m = \frac{P}{\gamma * Q * Hn}$$

$$n_m = \frac{287.61 \times 10^3}{9810 * 0.135 * 247}$$

$$n_m = 87.92\%$$

3.1.5 Calculo del diámetro del chorro

Para determinar el diámetro del chorro utilizamos la ecuación:

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi * C_o}}$$

d= diámetro del chorro.

C_o= velocidad del chorro.

Q= caudal.

$$d = \sqrt{\frac{4 * 0.135}{3.1416 * 67.52}}$$

$$d = 0.050m$$

la relación de diámetros (δ) y el numero específico de revoluciones es (n_s) que se muestra en la siguiente ecuación.

$$\delta = \frac{d}{D}$$

d: diámetro del chorro

D: diámetro pelton

$$\delta = \frac{0.050}{0.553}$$

$$\delta = 0.09m$$

3.1.6 Calculo del diámetro del pelton

Para calcular el diámetro pelton utilizamos la ecuación:

$$\frac{d}{D} = \frac{n_s}{288 \cdot \sqrt{k_{co} \cdot \eta}}$$

Donde,

D= diámetro pelton

d= diámetro chorro

k_{co}=coeficiente de tobera

η = rendimiento

$$\frac{0.050}{D} = \frac{24.04}{288 \cdot \sqrt{0.97 \times 0.87.92}}$$

$$D = 0.553m$$

3.1.7 Calculo de los diámetros exteriores

Para determinar los diámetros exteriores como de puntas utilizamos las siguientes ecuaciones.

$$D_p = D + 2 \left(\frac{7}{6} d \right)$$

$$D_p = 0.553 + 2 \left(\frac{7}{6} 0.050 \right)$$

$$D_p = 0.669m$$

$$D_e = D_p + d$$

$$D_e = 0.669 + 0.050$$

$$D_e = 0.719m$$

D_p =diámetro de puntas

D_e =diámetro exterior

d =diámetro del chorro

D =diámetro pelton

3.1.8 Calculo del número de cucharas y paso máximo

Para determinar el número de cucharas se utiliza la siguiente ecuación:

$$z = \frac{D * \pi}{2d}$$

Z = número de cucharas

d =diámetro del chorro

D =diámetro pelton

$$z = \frac{0.553 * 3.1416}{2 * 0.050}$$

$$z = 17.37$$

El pasó angular esta dado al número de cucharas y se determina por la siguiente ecuación:

$$\theta = \frac{2\pi}{z}$$

$$\theta = \frac{2 * 3.1416}{17.37}$$

$$\theta = 0.361$$

3.1.9 Velocidad Específica

Se tiene la ecuación para la velocidad específica de revoluciones para poder calcular el diámetro pelton.

$$n_s = \frac{n\sqrt{P}}{Hn^{5/4}}$$

n_s = número específico

n =velocidad en RPM

N = potencia en HP

H_n = altura neta

$$n_s = \frac{1200\sqrt{384.94}}{247^{5/4}}$$

$$n_s = 24.04$$

3.1.10 Dimensiones de las cucharas o alabes

Las dimensiones de las cucharas o alabe son proporcionales al diámetro del chorro, y en base a este se hacen los cálculos para las respectivas dimensiones.

Ancho del alabe:

Se calcula con la siguiente ecuación:

$$B = (2.85)d$$

$$B = 2.85 * 0.050$$

$$B = 0.142m$$

Donde:

d= diámetro del chorro m

Profundidad del alabe:

Se calcula con la siguiente ecuación:

$$t = (0.9)d$$

$$t = 0.9 * 0.050$$

$$D = 0.045m$$

Donde:

d= diámetro del chorro m

Largo del alabe:

Se calcula con la siguiente ecuación:

$$h = (2.4)d$$

$$h = 2.4 * 0.050$$

$$h = 0.12m$$

Donde:

d= diámetro del chorro m

Ancho en el destalonamiento:

Se calcula con la siguiente ecuación:

$$a = (1.2)d$$

$$a = 1.2 * 0.050$$

$$M = 0.06$$

Donde:

d= diámetro del chorro m

Punto de cruce de las trayectorias de los puntos exteriores de dos cucharas contiguas:

Se calcula con la siguiente ecuación:

$$k = 0.135D$$

$$k = 0.135 * 0.553$$

$$k = 0.074m$$

Donde:

D= diámetro pelton m

Espesor del alabe o cuchara:

Se calcula con la siguiente ecuación:

$$X = k - t$$

$$X = 0.074 - 0.045$$

$$X = 0.029$$

Donde:

K= Punto de cruce de las trayectorias de los puntos exteriores de dos cucharas contiguas.

t= Profundidad de la cuchara

- **Medidas en el plano del alabe**

$$h_1 = 0.175d$$

$$h_1 = 0.175 * 0.050$$

$$h_1 = 0.0087$$

$$h_2 = 1.175d$$

$$h_2 = 1.175 * 0.050$$

$$h_2 = 0.058$$

d= diámetro chorro

Ángulos de las cucharas

$$\beta_1 = 8^\circ - 12^\circ$$

$$\beta_2 = 7^\circ - 11^\circ$$

$$\beta_3 = 4^\circ - 6^\circ$$

$$\beta_4 = 8^\circ - 10^\circ$$

3.1.11 Dimensiones del inyector

Diámetro de la salida de la tobera:

Se calcula con la siguiente ecuación:

$$dt = 1.1d$$

$$dt = 1.1 * 0.050$$

$$dt = 0.055m$$

Donde:

d= diámetro chorro

Ancho de la aguja:

Se calcula con la siguiente ecuación:

$$\alpha = 1.42d$$

$$\alpha = 1.42 * 0.050$$

$$\alpha = 0.071m$$

Donde:

d= diámetro chorro

Carrera de la aguja:

Se calcula con la siguiente ecuación:

$$x = 0.5d$$

$$x = 0.5 * 0.050$$

$$x = 0.025m$$

Donde:

d= diámetro chorro

Eje de la válvula aguja:

Se calcula con la siguiente ecuación:

$$dv = 0.58d$$

$$dv = 0.58 * 0.050$$

$$dv = 0.029m$$

Donde:

d= diámetro chorro

Longitud de la válvula aguja:

Se calcula con la siguiente ecuación:

$$b = 3.3d$$

$$b = 3.3 * 0.050$$

$$b = 0.165m$$

Donde:

d= diámetro chorro

Diámetro de ingreso de la tobera:

Se calcula con la siguiente ecuación:

$$d_1 = 2.5d$$

$$d_1 = 2.5 * 0.050$$

$$d_1 = 0.125$$

Donde:

d= diámetro chorro

Ángulos de la válvula aguja

$$\alpha_0 = 40^\circ - 60^\circ$$

$$\alpha_1 = 60^\circ - 90^\circ$$

CAPITULO IV

4.-CONTROLES DE CALIDAD (COMO NUEVAS TECNOLOGIAS).

4.1 CONTROLES DE CALIDAD EN UN RODETE PELTON

Los rodets necesariamente deben someterse a controles de calidad durante su fabricación así como cuando están en servicio, ya sea para confirmar las propiedades mecánicas garantizadas durante su fabricación o para prevenir daños de los mismos en servicio, evitando así daños catastróficos. Los controles del tipo destructivos solo tienen lugar durante la fabricación o en elementos inservibles con la finalidad de las causas de la falla que los llevo a ese estado.

Los ensayos no destructivos sin embargo entran en acción durante varios estados de la fabricación y también durante los controles de servicio. Durante la fabricación, los ensayos no destructivos permitirán detectar piezas defectuosas y durante el servicio en las plantas revelar defectos, desgaste, etc. antes que la maquina pase a un estado de operación peligroso. Estas inspecciones deben llevarse a cabo por el personal de planta en intervalos regulares o después de alguna ocurrencia extraordinaria.

Dentro de los ensayos no destructivos se tienen:

- 1.- Control Visual.
- 2.- Control con Radiografía.
- 3.- Control con Partículas Magnéticas.

4.- Control con Líquidos Penetrantes

5.- Control de dureza.

6.- Control de Balanceo.

4.2.- EVALUACIONES DE CALIDAD POSTERIOR A LA FUNDICION DEL RODETE

Se realizaron dos evaluaciones térmicas, para uniformizar y eliminar las tensiones internas del material:

4.2.1 Evaluación Térmica de Templado

Efectuado para darle uniformidad al materia , el rodete es calentado hasta 1010°C (1859°F), con una gradiente de 95°C/hora, a esta temperatura se mantiene constante por 3 horas, luego es enfriado rápidamente mediante inyección de aire forzado frío, hasta una temperatura de 565°C a 620°C, el enfriamiento total se realiza con horno abierto y con una gradiente descendente de 30°C/hora.

4.2.2 Evaluación Térmica de Revenido

Efectuado para el alivio de tensiones de la estructura interna del rodete, el rodete es calentado hasta 610°C con una gradiente de 60°C/hora a esta temperatura se mantiene constante por 3 horas, luego es enfriado con una gradiente descendente de 40°C/hora.

4.3 ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS POSTERIORES A LAS EVALUACIONES TERMICAS

El rodete construido en una sola pieza, fue sometido a ensayos no destructivos para comprobar la calidad del material del rodete Pélton una vez terminadas las evaluaciones térmicas estas fueron:

4.3.1 Control Visual

El control visual es el primer control de componentes nuevos y también de aquellos durante su servicio. Consiste en revisar la calidad de las superficies, revelando defectos de superficie durante la manufactura y posteriormente en la operación. Su objetivo es detectar defectos superficiales tales como:

- Abrasión: ocasionada generalmente por arena y suciedad, las cuales ocasionan un daños mecánico.
- Desperfectos mecánicos: normalmente golpes de piedras que dejan una huella. Estos puntos pueden influir en la resistencia del material por un efecto conocido como concentración de tensiones.
- Desperfectos por fundición: (poros) mayormente por la inclusión de arena de fundición.
- Fisuras: es la más grave y que puede ocasionar fallas en el rodete.



FIGURA 18: Control Visual

FUENTE: Murray García H.

4.3.2 Control con Radiografía.

El control con radiográfica es aplicada para la detección de defectos internos, entonces, el control con radiográfica puede ser considerada como un método de investigación para determinar la calidad de los aceros fundidos. Generalmente, este método puede ser aplicado para la inspección de toda clase de fundiciones de acero, salvo que espesores importantes, la geometría o la falta de accesibilidad a ciertas zonas lo impidan. Para nuestro caso el tipo de control es Gammgrafía al 100% de los cuellos de las cazoletas del rodete. El equipo de gammagrafía empleado fue el de Fuente de Iridio-192 radioisótopos. Marca Tech – Ops, modelo 660.



FIGURA 19: Control con Radiografía

FUENTE: Murray García H.

4.3.3 Control con Partículas Magnéticas.

Los rodetes Pélton están con frecuencia a sufrir daños como la erosión por arena, los deterioros producidos por sustancias solidas que se encuentran en el agua y por grietas de fatiga. Estos deterioros y desgastes reducen la potencia hidráulica y la disponibilidad de las turbinas. Las grietas de fatiga, producidas por pequeños desperfectos del material localizados inmediatamente debajo de la superficie del rodete (que no pueden ser detectados por un control con líquidos penetrantes), se consideran los deterioros más peligrosos.

El control con partículas magnéticas permite la detección y localización de discontinuidades superficiales y subsuperficiales en los materiales ferromagnéticos. Las discontinuidades subsuperficiales capaces de ser detectadas por este proceso son aquellas que se encuentran hasta

2mm por debajo de la superficie, dependiendo esto de ciertas condiciones de magnetización y de la experiencia de las personas que los realizan.

- Yugo Magnético
- Luz Negra
- Partículas Magnéticas Fluorescentes



FIGURA 20: Control con Partículas Magnéticas

FUENTE: Murray García H.

4.3.4 Control con líquidos Penetrantes.

El ensayo no destructivo por líquidos penetrantes es uno de los más usados por su sencilla aplicación. Esta prueba tiene como objetivo la detección de defectos abiertos en la superficie de las piezas. El método es aplicable tanto a féreos como no féreos. El examen por líquidos penetrantes depende fundamentalmente de aquellas propiedades de los líquidos que les comuniquen un

determinado poder humectante, suficiente para mojar la superficie del sólido u objeto sometido a examen al tiempo que les permitan fluir sobre ella formando una película razonablemente continua y uniforme, así como una facultad o poder de penetración que les faculten para introducirse en la discontinuidad abierta a la superficie.

Para nuestro caso se efectuó al 100% del rodete, durante el proceso de esmerilado y al final del proceso, para verificar porosidades y rajaduras superficiales.



FIGURA 21: Control con Líquidos Penetrantes

FUENTE: Murray García H.

4.3.5 Control de Dureza.

El instrumento utilizado para el control de dureza es un medidor de dureza Marca Krautkramer. La unidad de control es en HB, se deben realizar en varios puntos del rodete. Los criterios de aceptación están regidas a la calidad del material acero G X5 Cr Ni 13-4 utilizado en la investigación planteada con un aproximado (270HB – 310HB)

4.3.6 Control de Balanceo.

Se da cuando el centro de gravedad no coincide con su centro geométrico el equipo utilizado para este control es una balanceadora Serie IRD; modelo B-50 perfecto para realizar este tipo de pruebas.



FIGURA 22: Balanceo Dinámico

FUENTE: Murray García H.

MURRAY GARCIA, H. - (2005). Controles de calidad, en la fabricación de rodetes pelton.

CAPITULO V

5. EVALUACIÓN ECONÓMICA

5.1. Introducción

En el mercado internacional los fabricantes de turbinas hidráulicas como ANDRITZ, ALSTOM, NEYRPRIC, ESCHER WYSS y otros son empresas competitivas donde realizan innovaciones tecnológicas desde el proceso de fabricación, confiabilidad, vida útil y costos. Viene generando energía hidráulica y térmica en sus plantas; por consiguiente para estar operativas, disponibles y eficientes y para aportar energía al Sistema Interconectado Nacional dirigido por el COES es necesario la su mantenimiento de las máquinas y equipos que cuentan en cada de sus plantas generadoras de unidades de energía.

5.2. Costos de las turbinas hidráulicas pelton

Las turbinas hidráulicas denominadas Pelton se han estado adquiriendo de diferentes empresas internacionales; con el proceso de fabricación de fundición y un diseño tradicional que venían con eficiencias mayores al 80% y una vida útil de 12 años; por consiguiente hemos visto la necesidad en el transcurso del tiempo al año 2015 mejorar la central en varios aspectos como el diseño de la rueda en nuevos procesos de fabricación.

ITEM	FABRICANTE	TURBINA HIDRAULICA	FABRICACION	RENDIMIENTO %	COSTO
1	ALSTOM	PELTON	2008	86	1,985,256.00
2	ANDRITZ	PELTON	2017	87.92	2,911,556.47

TABLA 8: Especificaciones de fabricantes

FUENTE: Andritz Fabricante

En coordinación con las empresas de generación eléctrica que aportan energía al COES y la Empresa Andritz hemos estado cooperando para el mejoramiento de las turbinas pelton como es el análisis de fallas de causa raíz y los costos que acarrearán por la ineficiencia de estas máquinas; trayendo consigo un aumento del rendimiento del 86% al 87.92% y un aumento de la vida útil de 12 a 18 años. Por consiguiente el tiempo de recuperación según datos se realiza el correspondiente cálculo económico con los siguientes datos:

Resumen del presupuesto privado

CONCEPTO	MONTO
Construcción + Equipamiento	1,598,142.39
Estudios realizados (muestreo)	815,000.56
Supervisión de la obra	120,000.00
Saneamiento servicios externos	322,700.00
Programa manejo ambiental	52,300.00
Responsabilidad social	3,413.42
Total	2,911,556.37

TABLA 9: Presupuesto Privado

Fuente: Propia

La inversión requerida para la construcción del proyecto, incluyendo costos de construcción, supervisión, saneamiento asciende a la suma de S/. 2,911,556.37 nuevos soles.

5.3 TIR Y VAN del proyecto

Producción mensual KW

$$287 * 30 * 24 = 206\,640.000 \text{ (s/.)}$$

Producción anual de energía

$$206.640.000\$ * 12 = 2\,479\,680.00 \text{ (s/.)}$$

Se ha determinado que para una central de esta dimensión los gastos de operación y mantenimiento mensual es de 50,000.00 aproximadamente ya que cada año se deprecia el equipo y empieza a envejecer es por lo cual el valor del mantenimiento tiene la tendencia aumentar.

AÑO	INGRESO	MANTENIMIENTO	EGRESO (ANUAL)	MONTO
1	2,479,680.00	600,000.00	600,000.00	1,879,680.00
2	2,600,000.00	600,000.00	600,000.00	2,000,000.00
3	2,600,000.00	700,000.00	700,000.00	1,900,000.00
4	2,750,000.00	750,000.00	750,000.00	2,000,000.00
5	2,800,000.00	800,000.00	800,000.00	2,000,000.00

TABLA 10: Ingresos Y Egresos
Fuente: Propia

VAN: Valor Actual Neto

AL 15%					
Año	Año	Año	Año	Año	Año
0	1	2	3	4	5
-2,911,556.37	1,879,680.00	2,000,000.00	1,900,000.00	2,000,000.00	2,000,000.00
1,634,504.34	$\frac{1,879,680.00}{(1+0.15)^1}$	↓	↓	↓	↓
1,512,287.33	←	$\frac{2,000,000.00}{(1+0.15)^2}$	↓	↓	↓
1,194,356.35	←	←	$\frac{1,900,000.00}{(1+0.15)^3}$	↓	↓
1,143,506.49	←	←	←	$\frac{2,000,000.00}{(1+0.15)^4}$	↓
994,353.47	←	←	←	←	$\frac{2,000,000.00}{(1+0.15)^5}$
6,479,007.98	TOTAL	EL TOTAL DE LA SUMA DE LOS 5 AÑOS SE RESTA CON LA INVERSION DEL PROYECTO DANDO EL VALOR ACTUAL NETO POSITIVO 3,567,451.61			
-2,911,556.37	INVERSION				
3,567,451.61	VAN +				

TABLA 11 : Van

Fuente: Propia

TIR: TASA INTERNA DE RETORNO

AL 70%					
Año	Año	Año	Año	Año	Año
0	1	2	3	4	5
-2,911,556.37	1,879,680.00	2,000,000.00	1,900,000.00	2,000,000.00	2,000,000.00
1,105,394.11	$\frac{1,879,680.00}{(1+0.70)^1}$	↓	↓	↓	↓
692,041.52	←	$\frac{2,000,000.00}{(1+0.70)^2}$	↓	↓	↓
386,729.08	←	←	$\frac{1,900,000.00}{(1+0.70)^3}$	↓	↓
239,460.73	←	←	←	$\frac{2,000,000.00}{(1+0.70)^4}$	↓
140,864.91	←	←	←	←	$\frac{2,000,000.00}{(1+0.70)^5}$
2,564,490.35	TOTAL	EL TOTAL DE LA SUMA DE LOS 5 AÑOS SE RESTA CON LA INVERSION DEL PROYECTO DANDO TIR -347,066.02			
-2,911,556.37	INVERSION				
-347,066.02	VAN -				

TABLA 12 : TIR

Fuente: Propia

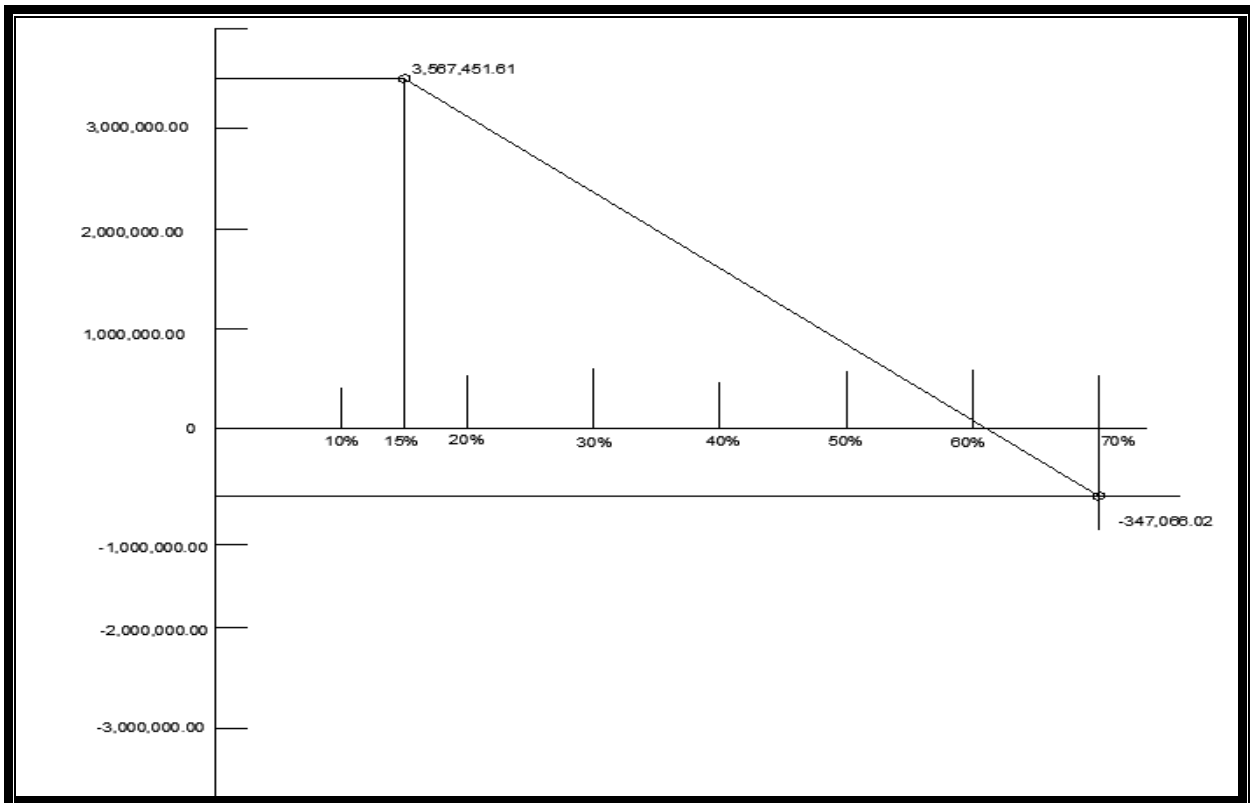


GRAFICO 12: VAN Y TIR

Fuente: Propia

VAN: 3,567,451.61

TIR: 61%

De lo expuesto podemos afirmar que el proyecto es viable, rentable, el VAN analizando al 15% salió positivo y el TIR es mayor a la tasa del interés.

CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos en el diseño pelton, permitieron diseñar con cálculos, normas existentes en la actualidad y controles de calidad como (nuevas tecnologías).
- Los resultados de controles de calidad como ensayos no destructivos, aseguran que el material G X5 Cr Ni 13-4 está dentro de los márgenes de la calidad.
- Con las investigaciones del rodete pelton, se demostró que cumple con los requisitos de la localidad donde va ser implementado.
- Todo el proceso de controles de calidad realizado se desarrollaron de acuerdo a la norma técnica internacional CCH 70-3.
- Con el desarrollo de esta investigación, se mejoró en el rendimiento y en la vida útil del rodete.
- La presente investigación contiene una cierta cantidad de contenido teórico, debido a que no se encuentra con demasiada información práctica en lo que concierne a especificaciones técnicas concretas y precisas, solo se considera patrones y modelos de diseño existente y aceptable por autores.

RECOMENDACIONES

- Se debe tener especial énfasis en las recomendaciones una vez puesto al servicio el rodete pelton.
 - ✓ Un control visual en un tiempo de 25 días de haber empezado el servicio.
 - ✓ Un control visual y de partículas magnéticas en un tiempo de 40 días de haber realizado la primera recomendación.
 - ✓ Un control visual y de partículas magnéticas en un tiempo de 55 días de haber realizado la segunda recomendación.
 - ✓ Un control visual y de partículas magnéticas en un tiempo de 70 días de haber realizado la tercera recomendación.
 - ✓ Un control visual y de partículas magnéticas en un tiempo de 85 días de haber realizado la cuarta recomendación.
- Realizar el mantenimiento correctivo al rodete pelton y tener un especial énfasis en las cucharas cada 6 meses.
- Llevar un control permanente de las horas trabajadas del rodete al 100%.
- Para un diseño óptimo de las turbinas pelton posterior a la investigación ya tratada necesariamente hay que guiarse de autores normas vigentes, catálogos y las nuevas tecnologías que están por venir.

BIBLIOGRAFIA

- 1. FERNANDEZ P.** - Turbinas hidráulicas. editorial limusa. España.
- 2. HAUSER V.** – Caracterización de turbina turgo para microgeneración, trabajo de titulación.
- 3. MATAIX, C.** - Mecánica de fluidos y maquinas hidráulicas (2ed.)
- 4. POLO ENCINAS, M.** - Turbinas hidráulicas, tercera edición editorial limusa México.
- 5. FERRADA SEPULVEDA, L.** - Diseño de rodete para micogeneracion. trabajo de titulación.
- 6. ASME, ASME – PTC18-2002** Hydraulic turbines and pump turbines, publicado en el 2002.
- 7. RODRIGUES RIVERA, L.** - Estudio y análisis de turbinas pelton, trabajo de titulación.
- 8. MURRAY GARCIA, H.** - Controles de calidad, trabajo de titulación – utilizado en esta tesis, para mejorar los aspectos los cuales presenta la investigación.
- 9. RIOS CHAVEZ, H** – Diseño de turbina pelton, trabajo de titulación.
- 10. GARCIA PEREZ, M** – Turbomaquinas – turbinas hidráulicas. Universidad del callao

ANEXOS

DIAGRAMA DE EJECUCION																																								
Actividades	Agosto				Setiembre				Octubre				Noviembre				Diciembre				Enero				Febrero				Marzo				Abril							
Requerimiento	X																																							
Propuesta del proyecto	X																																							
Justificación del proyecto			X																																					
Aprobación del proyecto				X																																				
Puesta en marcha del proyecto					X																																			
Requerimiento de equipos						X																																		
Visita técnica central hidroeléctrica.							X																																	
Llegada de equipos y componentes										X	X																													
Montaje de proyecto											X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X						
Prueba de proyectos 1																																			X	X				
Prueba de proyectos 2																																			X	X	X			
Verificación de proyecto																																				X	X			
Entrega de proyecto final																																				X	X	X	X	

MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLES	INDICADORES	METOLOGIA	CONCLUSIONES
¿De qué manera se puede dar el diseño de un rodete Pelton para mejorar el rendimiento mediante controles de calidad, en la Central Hidroeléctrica huayunga	Realizar el diseño de un rodete Pelton para mejorar el rendimiento mediante el uso de controles de calidad, en la Central Hidroeléctrica huayunga	Diseño de un rodete Pelton para mejorar el rendimiento mediante el uso de controles de calidad en su fabricación, en la Central Hidroeléctrica huayunga.	Variable independiente: Diseño de un rodete Pelton.	X1 Ámbito donde se realiza la investigación. X2 Actualización de datos técnicos relacionados a la investigación. X3 Presupuesto.	La presente investigación es de tipo descriptivo ya que se realizara un diseño en el cual se van a plasmar los fundamentos teóricos y prácticos necesarios para la realización de la propuesta del proyecto.	En los diferentes procesos de fabricación para elaborar las ruedas pelton, los resultados obtenidos permitieron seleccionar el mas idóneo según los resultados mostrados en la investigación
¿Cómo se llegaría a dar el diseño de un rodete Pelton, en la Central Hidroeléctrica huayunga?	Llevar a cabo el diseño de un rodete Pelton utilizando cálculos, normas, catálogos vigentes para el desarrollo de la investigación.	Estudio del arte en cuanto a diseño, calculo, aplicando normas vigentes en el diseño de rodetes pelton.	Variable dependiente: Para aumentar el rendimiento, mediante el uso de controles de calidad, en La Central Hidroeléctrica Huayunga Provincia de Cajabamba - Cajamarca	Y1 Eficiencia. Y2 Diseño. Y3 Calidad		Con las características y dimensiones de diseño en esta investigación, se demostró que si cumple con los requisitos de la localidad donde se realizó la investigación y así mejorar su rendimiento en una porcentaje con controles de calidad..
¿Qué generaría el diseño para mejorar el rendimiento mediante el uso controles de calidad en su fabricación?	Investigar por medio de controles de calidad la mejora del diseño para mejorar el rendimiento y aumentar la producción en generación de energía.	El análisis e investigación por medio de controles de calidad para aumentar la vida útil.				Los resultados de controles de calidad como ensayos no destructivos de radiografía industrial, tintes penetrantes y de partículas magnéticas, aseguran que el material del rodete se encuentra dentro de las características propias del material.

