



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA

TITULO:

“FACTIBILIDAD TÉCNICO ECONÓMICA DE DISEÑO DE UNA TURBINA
PÉLTON DE 50KW PARA LA EMPRESA MINERA “CUBAVI SRL”. PATAZ”

**TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERÍA MECÁNICA.**

AUTOR:

CUEVA INFANTES, HENRRY

ASESOR:

ING. MARTIN SIFUENTES INOSTROZA

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Generación, Transmisión y Distribución

TRUJILLO – PERÚ

2016

PAGINA DEL JURADO

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	
Título: "FACTIBILIDAD TÉCNICO ECONÓMICA DE DISEÑO DE UNA TURBINA PÉLTON DE 50KW PARA LA EMPRESA MINERA "CUBAVI SRL".PATAZ "	
Autor: Cueva Infantes ,Henry Bachiller de Ingeniería Mecánica	
Asesor: Mg. Julca Verástegui, Luis Alberto Ingeniero Mecánico	

JURADO EVALUADOR

Presidente del Jurado: Ing. Martin Sifuentes Inostroza	
Secretario del Jurado: Mg. Raúl Paredes Rosario	
Vocal del Jurado: Mg. Luis Julca Verástegui	

Trujillo, 29 de setiembre del 2016.

DEDICATORIA

A Dios nuestro creador por fortalecerme, guiarme e iluminarme en mi formación profesional, permitiéndome cumplir mis metas con éxito.

A Víctor y Lucia, mis padres, primeros maestros que me enseñaron el valor que tiene la vida; así como la responsabilidad y valentía para afrontar cada obstáculo que hay en ella, son ellos quienes gracias a sus consejos y ejemplos; de sacrificio y amor han hecho posible mi profesión, de la cual hoy me siento orgulloso.

A Paola, el amor de mi vida que con sus consejos me impulsaron y demostraron salir adelante, dando siempre lo mejor de mí, desde el lugar donde me encuentre.

Autor:

Br. Cueva Infantes, Henry

AGRADECIMIENTO

A la empresa minera “CUBAVI”, Valle de Vijus, provincia de Pataz, quien me permitió las facilidades para concretar la realización de este trabajo.

A mi Alma Mater, la Universidad Cesar Vallejo; que ha sido durante estos años, la institución que me albergó en sus claustros universitarios, empapándome de prestigio y reconocimiento.

Asimismo a todos los docentes de la facultad de Ingeniería por compartir sus experiencias académicas, fortaleciendo mi espíritu de ingeniero, haciendo posible mi formación profesional.

A mi asesor Ing. Julca Verástegui Luis, destacado maestro de esta facultad, por su dirección en este trabajo, quien además de ser excelente profesional, han sabido inculcarme y orientarme con ejemplo de estudio, exigencia y responsabilidad en la formación como Ingeniero Mecánico.

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo..... con DNI N°, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Cesar Vallejo, Facultad de, Escuela de, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y autentica.

Así mismo, declaro también bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la presente tesis son auténticos y veraces.

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

Trujillo, del

Henry Cueva Infantes

PRESENTACIÓN

Señores Miembros del Jurado Calificador:

Cumpliendo con las normas establecidas por el reglamento de grados y títulos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Cesar Vallejo, pongo a vuestra consideración, el presente informe de tesis denominado: "FACTIBILIDAD TÉCNICO ECONÓMICA DE DISEÑO DE UNA TURBINA PELTON PARA LA EMPRESA MINERA "CUBAVI SRL".PATAZ ", elaborado con la finalidad de optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico.

En tal sentido aprovecho la oportunidad, para expresarles a ustedes y a todos los profesores de la Facultad de Ingeniería, mi eterno agradecimiento por impartir en mí, valiosos conocimientos necesarios para mi formación profesional.

Señores Miembros del Jurado, pongo en sus manos dicha investigación, recibiendo con humildad vuestros aportes y sugerencias, para mejorar y a la vez espero que sirva de base para quienes deseen investigar en dicho tema.

Trujillo, 16 de setiembre del 2016.

Br. Cueva Infantes, Henry.

ÍNDICE

PÁGINA DEL JURADO	1
DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD	4
PRESENTACIÓN	5
ÍNDICE	6
RESUMEN	19
ABSTRACT	20
I. INTRODUCCIÓN	21
1. Realidad problemática	21
2. Trabajos previos	22
3. Teorías relacionadas al tema	24
4. Formulación del problema	46
5. Justificación del estudio	46
6. Hipótesis	48
7. Objetivos	48
II. MÉTODO	50
1. Diseño de investigación	50
2. Variables, operacionalización	53
3. Población y muestra	54
4. Técnicas e instrumentos de recolección de	

datos, validez y confiabilidad	55
5. Métodos de análisis de datos	56
6. Aspectos éticos	57
III. RESULTADOS	58
1. Demanda de potencia requerida	58
2. Evaluación de recurso hidroenergetico	59
2.1. Determinación de la cota geodésica	59
2.2. Determinación del caudal	62
3. Calculo técnico de transformación hidro-mecánico	63
3.1. Datos obtenidos para el cálculo	63
3.2. Calculo de potencia de entrada a turbina	64
3.3. Calculo de turbina péltón	73
3.4. Dimensiones de la turbina péltón	89
3.5. Aguja	90
3.6. Dimensiones de cuchara	92
4. Calculo técnico de transformación hidro-mecánico	95
4.1. Selección de transmisión	95
4.2. Selección del reductor de velocidad	102
5. Análisis mecánico del sistema	103
5.1. Diagrama de cuerpo libre de turbina	103
5.2. Máximo esfuerzo de cuchara y de vástago	105
5.3. Máximo esfuerzo de contacto	108
5.4. Máximo esfuerzo de corte en perno	110
5.5. Criterio de falla por fatiga-criterio de von mises máxima energía de distorsión	

en el punto mas crítico de la turbina	111
5.6. Análisis de cargas en eje	117
6. Análisis de obras civiles	143
6.1. Análisis de apoyos y anclajes	143
6.2. Diseño de cámara de carga	157
7. Análisis económico y financiero de hidro con turbina péltón	160
7.1. Flujo de caja interno	160
7.2. Valor actual neto	165
7.3. Calculo de la tasa interna de retorno	166
7.4. Calculo del costo del kw*h	167
7.5. Conclusión de análisis	172
8. Análisis económico del grupo electrógeno de 50kw	172
8.1. Cuadro de costos	173
8.2. Factor planta	174
8.3. Costo unitario de energía	175
IV. DISCUSIÓN	176
V. CONCLUSIONES	178
VI. RECOMENDACIONES	180
VII. PROPUESTA	181
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	182

IX. ANEXOS	184 ✓
Instrumentos	
Anexo a-01:	184
Zona instalación de proyecto	
Anexo a-02:	185
Reconocimiento de zona	
Anexo a-03:	186
Instalación de hidroeléctrica	
Anexo a-04:	187
Agua filtrada de interior mina	
Anexo a-05:	188
Detalle de interior mina choloque	
Anexo a-06:	189
Midiendo altura	
Anexo a-07:	190
Midiendo caudal	
✓ Validación de los instrumentos	
Anexo b-01:	191
Diagrama del diseño	
Anexo b-02:	192
Dimensiones de cuchara	

Anexo b-03:	193
Dimensiones de turbina, eje y péltón	
Anexo b-04:	194
Dimensiones del codo 45° y tubería	
Anexo b-05:	195
Dimensiones de cámara de carga	
Anexo b-06:	196
Análisis de cucharas	
Anexo b-07:	197
Análisis por von mises	
Anexo b-08:	198
Factor de seguridad cucharas	
Anexo b-09:	199
Análisis de eje	
Anexo b-10:	200
Factor de seguridad según von mises, eje	
✓ Matriz de consistencia	
Anexo c-01:	201
Tubos aceros Arequipa	
Anexo c-02:	202
Rendimiento de distintos tipos de transmisión sugerida	

Anexo c-03:	203
Características técnicas del generador genpack	
Anexo c-04:	204
Factor de servicio de diferentes maquinas	
Anexo c-05:	205
Selección del tipo de faja	
Anexo c-06:	206
Tipo de rodamientos	
Anexo c-07:	207
Selección de chumaceras, ntn	
Anexo c-08:	208
Selección de chaveta	
Anexo c-09:	209
Selección de acople nbk	

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura N^o 01: Altura disponible de agua.
- Figura N^o 02: Velocidad del chorro.
- Figura N^o 03: Triangulo de velocidades.
- Figura N^o 04: Proporciones de cucharas referidas al diámetro del chorro unidad (d=1)
- Figura N^o 05: Trazado de trayectorias relativas.
- Figura N^o 06: Orientación de la cuchara.
- Figura N^o 07: Representaciones de cucharas.
- Figura N^o 08: Chorro Pelton. Repartición de velocidades
- Figura N^o 09: Proporciones de la aguja de inyección, para un diámetro de chorro unidad (d=1)
- Figura N^o 10: Salida de chorro, para un diámetro unidad (d=1) Figura N^o 11: Cámara de carga.
- Figura N^o 12: Midiendo desde cámara de carga.
- Figura N^o 13: Midiendo desde la persona “y”
- Figura N^o 14: Longitud de la tubería según hipotenusa.
- Figura N^o 15: Medida de caudal.
- Figura N^o 16: Evaluación de la turbina Pelton.
- Figura N^o 17: Tuberías de aceros Arequipa.
- Figura N^o 18: Rendimientos de distintos tipos de transmisión sugeridos.
- Figura N^o 19: Dimensionamiento de turbina.
- Figura N^o 20: Dimensiones en boca de tobera.
- Figura N^o 21: Dimensión de toda la tobera.

- Figura N^o 22: Dimensiones de una cuchara.
- Figura N^o 23: Diagrama de cuerpo libre turbina.
- Figura N^o 24: Cuchara y vástago de cuchara.
- Figura N 25: Sección A-A de cuchara y vástago de cuchara.
- Figura N^o 26: La fuerza máxima del chorro.
- Figura N^o 27: Sección B-B en agujero del perno.
- Figura N^o 28: Sección C-C del agujero rodete.
- Figura N^o 29: Diagrama de cuerpo libre de corte en perno.
- Figura N^o 30: Frecuencia de esfuerzos.
- Figura N^o 31: Análisis de trabajo en turbina.
- Figura N^o 32: Análisis de fuerzas en eje de turbina.
- Figura N^o 33: Análisis de fuerzas en todo el eje.
- Figura N^o 34: Diagrama de momentos flectores en vertical.
- Figura N^o 35: Diagrama de momentos flectores en horizontal.
- Figura N^o 36: Diagrama de esfuerzo torsor.
- Figura N^o 37: Frecuencia de esfuerzo flexión en “x”
- Figura N^o 38: Frecuencia de esfuerzo torsión en “x-y” Figura
- N^o 39: Dimensiones de chumacera.
- Figura N^o 40: Dimensiones de chaveta y chavetero.
- Figura N^o 41: Dimensiones de acople.
- Figura N^o 42: Anclajes y apoyos.
- Figura N^o 43: Análisis de fuerzas en el anclaje.
- Figura N^o 44: Fuerza de rozamiento.
- Figura N^o 45: Equilibrio de fuerzas.
- Figura N^o 46: Análisis de fuerza.

Figura N^o 47: Fuerza de fricción.

Figura N^o 48: Presión hidrostática.

Figura N^o 49: Componente del peso de la tubería.

Figura N^o 50: Fuerza de fricción en junta de dilatación.

Figura N^o 51: Fuerza debido a la presión hidrostática.

Figura N^o 52: Análisis de equilibrio en anclaje.

Figura N^o 53: Análisis en cámara de carga.

Figura N 54: Grafico VANE - TIR

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N^o 01: Coeficiente de velocidad tangencial.

Tabla N^o 02: Grafico de fricción en tuberías

Tabla N^o 03: Técnicas, métodos e instrumentos de recolección de datos.

Tabla N^o 04: Gastos aproximados de energía máxima diaria dentro de empresa.

Tabla N^o 05: Longitudes equivalentes.

Tabla N^o 06: Características técnicas del generador GENPACK.

Tabla N^o 07: Coeficiente de velocidad tangencial.

Tabla N^o 08: Proporciones de medida con medida con respecto al chorro de tobera.

Tabla N^o 09: Proporciones de medida con medida con respecto al chorro de cuchara.

Tabla N^o 10: Factor de servicios de diversas máquinas.

Tabla N^o 11: Selección del tipo de faja.

Tabla N^o 12: Selección de faja.

Tabla N^o 13: Polea máxima del motor eléctrico.

Tabla N^o 14: Potencia reductor de velocidad.

Tabla N^o 15: Dimensiones del reductor de velocidad.

Tabla N^o 16: Segunda parte de las mediciones del reductor de velocidad.

Tabla N^o 17: Acabado superficial del material.

Tabla N^o 18: Confiabilidad de análisis.

Tabla N^o 19: Acabado superficial del material.

Tabla N^o 20: Confiabilidad de análisis.

Tabla N^o 21: Tipo de rodamientos.

Tabla N^o 22: Selección de las chumaceras de la corporación NTN ((For New Technology Network).

Tabla N^o 23: Selección de chaveta.

Tabla N 24: Selección de acople según NBK (Nabeya Bi.Tech Kaisha).

Tabla N° 25: Costos de inversión de hidro con turbina Pelton.

Tabla N° 26: Costos de operación por mantenimiento de hidro con turbina Pelton.

Tabla N° 27: Ingresos por venta de energía anual.

Tabla N° 28: Flujo de caja interno beneficio-costos Tabla

N° 29: Valores actuales netos.

Tabla N° 30: Factor de valor actual.

Tabla N° 31: Factor de valor actual según "A" (pagos periódicos) Tabla

N° 32: Costo de energía.

Tabla N° 33: Cuadro de costos del grupo electrógeno.

Tabla N° 34: Costos de operación y mantenimiento de grupo electrógeno.

NOMENCLATURA

P_{elec} =Potencia eléctrica (W).

I =Intensidad de corriente (A).

V =Tension eléctrica (v).

$\cos\phi$ =Factor de potencia

A =Area del conductor de agua [m^2]

v_{media} =Velocidad absoluta de flujo dentro de la tubería de agua [m/S].

D_{inter} = Diametro interior de tubería [m]

D_{exter} =Diametro exterior de tubería [m]

P_{disp} = Potencia disponible en la caída de agua (Kw)

ρ =Densidad del agua (Kg/m³)

Q =Caudal del agua (m³/s)

g =Aceleracion de la gravedad, normalmente es 9,8 (m/s²)

h_{disp} =Salto bruto (m).

ΔH_{tub} =Altura de pérdidas en tubería de presión (m).

H_m = Altura de montaje de la turbina (m).

P = número de polos

F = frecuencia ciclos/segundo

N =velocidad de turbina (RPM)

P_{usada} = Potencia usada o consumida (Kw).

T_{usado} = Periodo de tiempo usado o consumido (horas, días, meses, años).

P_{ist} = Potencia instalada o útil de central eléctrica (Kw).

T_{ist} = Periodo de tiempo instalado (horas, días, meses, años).

C_{anual} = Costo anual del capital gastado en instalar la microcentral (S/).

O = Gastos en operaciones de microcentral (S/).

M = Gastos en mantenimiento de microcentral (S/).

L = Longitud del tanque (m)

A = Ancho del tanque (m)

f = factor de fricción

P_{atm} = Presion atmosferica segun altitud $\frac{N}{m^2}$

g = Gravedad de la tierra $\left(\frac{m}{s^2}\right)$

ρ = Densidad del agua $\frac{Kg}{m^3}$

f = friccion de la pared en tuberia

$V_b = V_a$ = Velocidad en toda la tuberia $\left(\frac{m}{s}\right)$

L = longitud total de tuberia instalada(m)

Re = Reynolds

ν = viscosidad cinematica $\frac{m^2}{s}$

ϵ = Rugosidad absoluta para tuberia de PVC (m)

k = coeficiente de Perdida

P =Presion de trabajo (Kg/cm²)

S =Esfuerzo Hidrostático de diseño (Kg/cm²)

D_0 =Diametro exterior (cm)

t =Espesor de Pared (cm)

FS =Factor de seguridad aplicada al esfuerzo de rotura.

BHD =Base hidrostática de diseño, y que se establece mediante pruebas de laboratorio a largo plazo. Para la materia prima utilizada en la fabricación de tuberias de PVC en nuestro país, el valor de esfuerzo de rotura es 280Kg/cm²

H_{neta} = Altura neta de turbina (m)

$P_{\text{salida turbina ideal}}$ = potencia de la turbina maxima cv

H_{neto} = Altura neta del sistema (m)

K_c = coeficiente de tobera

$\eta_{\text{total turb}}$ = eficiencia total de turbina

K_u = coeficiente de velocidad tangencial

θ = Paso angular (Grados)

C_1 = Velocidad absoluta en la entrada de la cuchara

α_1 = Angulo formado por las componentes de velocidad absoluta C_1 y la velocidad tangencial U_1 ,

K_f = Representa el coeficiente de velocidad relativa

η_v = rendimiento volumetrico

η_{mec} = Rendimiento mecanico

Z = Numero de chorros:

$F.S$ = Factor de servicio

$P_{\text{diseño}}$ = Potencia de transmisión para el diseño (Kw)

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo evaluar la factibilidad técnico económica de diseño de una turbina péltón de 50kw para la empresa minera “CUBAVI” en el distrito de Pataz, en el departamento La Libertad,

El costo unitario de la hidro es de 0.0601soles/KW*h mientras que del grupo electrógeno sería 0.54soles/KW*h para generar energía eléctrica mediante un grupo electrógeno de 50kw que actualmente se encuentra operando en la empresa minera CUBABI SRL. . Se determinó a utilizar la energía hídrica que existe en dicha zona, para poder satisfacer las demandas deseadas con costos menores al grupo electrógeno.

El sistema está conformado por cámara de carga, tuberías de acero comercial grado A cedula 40 de 6”, una turbina péltón para una potencia de 50KW, un reductor velocidad de 80kw y un generador eléctrico de 45kw.

El sistema se diseñó para suministrar un caudal de 0.0511m³/s a una altura disponible de 120m donde se transformara la energía hídrica a mecánica mediante la turbina péltón y a la vez la energía mecánica a eléctrica mediante un generador eléctrico de 45kw

Palabras claves: diseño de una turbina péltón de 50kw, sistema con cámara de carga, grupo electrógeno.

ABSTRAC.

This research aims to verify technical feasibility of economic design of Pelton turbine 50kw for the mining company " CUBAVI " in the district of Patatz in the department of La Libertad,

The unit cost of hydro is 0.0601soles / KW * h while Genset serious 0.54soles / kW * h to generate electricity through a generator 50kw which is currently operating in the mining company CUBABI SRL. . He was determined to use the water energy that exists in this area, to meet the desired demands with lower costs to the generator.

The system consists of loading chamber , pipes steel commercial grade Schedule 40 6" Pelton turbine for 50KW power , speed reducer and an electric generator 80kw 45kw .

The system was designed to provide a flow of 0.0511m³/s a height of 120m available where water is mechanical energy transformed by Pelton and see the mechanical to electrical energy through an electric generator 45kw.

Keywords: design of a 50kw pellet turbine, system with load chamber, generator set.

I. INTRODUCCIÓN

1. Realidad problemática.

La función importante de un grupo electrógeno es la de generar electricidad en aquellos lugares donde no hay suministro eléctrico, generalmente son zonas apartadas con pocas infraestructuras y muy poco habitadas.

En la empresa minera CUBAVI SRL se tiene un grupo electrógeno que alimenta a todo el sector minero de la empresa en diferentes usos, en especial para las maquinas que trabajan dentro de mina, que demandan mucha potencia de trabajo.

Los tiempos de aprovechamiento de energía dentro de la empresa son: De 8 am a 8 pm; En estos lapsos de tiempo se deben realizar las diferentes tareas que demanden energía eléctrica dentro de la empresa.

La potencia nominal del grupo electrógeno en la empresa es de 50kw, el cual trabaja únicamente cada 6 horas al día, con un consumo de 12 galones al día de combustible diesel, llegando a costar en dicho lugar de trabajo s/.15 por cada galón consumido.

El precio por galón de combustible cuesta s/.2 más que lo normal, debido al difícil transporte y tiempo que demora en llegar a una zona muy accidentada, generando un gasto propio mensual del grupo electrógeno.

Esto significa que para generar energía en un día completo de trabajo se necesita s/.180.00, por consiguiente en un mes s/.5,400.00. Dando como costo unitario de generación energética del grupo electrógeno 0.54 N.S/Kw.H.

Este sistema de trabajo es muy inadecuado, debido al alto costo por generación de energía y al poco tiempo de aprovechamiento de ello, el cual trae consigo pérdidas importantes de trabajo y uso significativo dentro de la empresa.

El objetivo que se pretende realizar es tratar de reemplazar la energía generada por combustión, por una energía más económica y limpia, para trabajar las 12 horas del día.

2. Trabajos previos.

En otros países mineros como Australia, Canadá, Polonia, EEUU y otros países más; se ha realizado el reemplazo de grupo electrógeno obteniendo resultados muy favorables. En EEUU se han desarrollado las principales investigaciones acerca del aprovechamiento de energía por medio del agua. Los trabajos de investigación apuntan a tener un mejor entendimiento del proceso económico y ecológico que brinda, así mismo, por medio del recurso hídrico algunas zonas rurales que no tienen energía eléctrica serían beneficiadas con ello.

A continuación se presentan un resumen de algunos artículos científicos internacionales y nacionales realizados en Perú y otros países. No habiendo encontrado ningún proyecto similar aplicado en generación eléctrica.

- ❖ **En Ecuador - Rio Bamba**, Escuela superior politécnica de Chimborazo, Edison Sisa y Wilmer Villarroel (2009).
- ✓ Realizaron un estudio de diseño y selección de una turbina pelton en la Hacienda la Isabela, llegando a la conclusión que el costo de Kw-h es de 0.0423 USD. El mismo que presenta un ahorro considerable para el propietario del sistema en comparación con

el valor comercial Kw-h suministrado por las empresas eléctricas del país.[2]

- ❖ **En Chile – Santiago**, Universidad de Chile, Dezerega Gherardelli y Palma Rodrigo (2007).
 - ✓ Realizaron un estudio de Diseño, montaje y pruebas en un prototipo de microcentral hidroeléctrica con turbina pelton otorgándoles grandes resultados para el posterior fabrica miento a gran escala.
- ❖ **En Colombia – Bogotá**, Universidad de la Salle, Tello Lina María y López Esmeralda (2004).
 - ✓ Realizaron un estudio de factibilidad para la construcción de una hidroeléctrica con turbina pelton , el cual concluyeron que , es probable la instalación de una turbina pelto , debido a la gran ventaja climática y geográfica que presenta.
- ❖ **En Perú-Huánuco**, Pontificia Universidad Católica del Perú, Víctor Alejandro Pajuelo Santos (2007).
 - ✓ Realizó un estudio de los análisis del mercado eléctrico, materiales de construcción y las alternativas para cubrir la demanda de generación eléctrica en Monzón, Analizaron las cuencas cercanas a la población, Realizaron estudios geográficos y topográficos del área seleccionada. En este trabajo se concluyó que el análisis del cause de las aguas debe ser constante y periódico [1].
- ❖ **En Perú – Lima**, Universidad Nacional de Ingeniería, Julio Andrés Cáceres Vergara (2006).
 - ✓ Mediante el estudio de Pre-factibilidad de una turbina pelton de San Pedro de Huacos en Perú, se concluyó que en el aspecto técnico, el uso de tecnologías de bajo costo reduce

sustancialmente la eficiencia.[3]

3. Teorías relacionadas al tema.

Sistema de generación eléctrica.

Este sistema se compone de las siguientes partes:

- Determinación de demanda eléctrica
- Determinación de caudal y potencia hídrica
- Casa de máquinas.
- Factor de planta y costo unitario de energía
- Obras civiles

A. Determinación de la demanda eléctrica.

Según los diversos artefactos eléctricos:

- Aparatos de alumbrado.
- Electrodomésticos
- Máquinas de mina
- Máquinas de taller

Según el tipo de fase alterna:

- Monofásica.

$$P_{elec} = I * V * \cos\phi \dots\dots (1) \bullet \text{Trifásica.}$$

$$P_{elec} = \sqrt{3} * I * V * \cos\phi \dots\dots(2)$$

P_{elec} =Potencia eléctrica (W).

I =Intensidad de corriente (A).

V =Tensión eléctrica (v).

$\cos\phi$ =

Factor de potencia

B. Determinación de caudal y potencia hídrica.

➤ Caudal.

Se determina por la siguiente fórmula:

$$Q_{\text{medida}} = \frac{\text{Volumen agua}_{\text{resipiente}} [\text{m}^3]}{\text{Tiempo}_{\text{llenado}} [\text{S}]} \dots\dots\dots(3)$$

O también según su velocidad media y área:

$$Q_{\text{calculada}} = A * v_{\text{media}} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{S}} \right] \dots\dots\dots (4)$$

$$Q_{\text{calculada}} = \frac{\pi * D^2 * v_{\text{media}}}{4} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{S}} \right] \dots\dots\dots (5)$$

A = Área del conductor de agua [m^2]

v_{media} = Velocidad absoluta de flujo dentro de la tubería de agua [m/S].

D =Diámetro de tubería [m]

➤ **Potencia hídrica.**

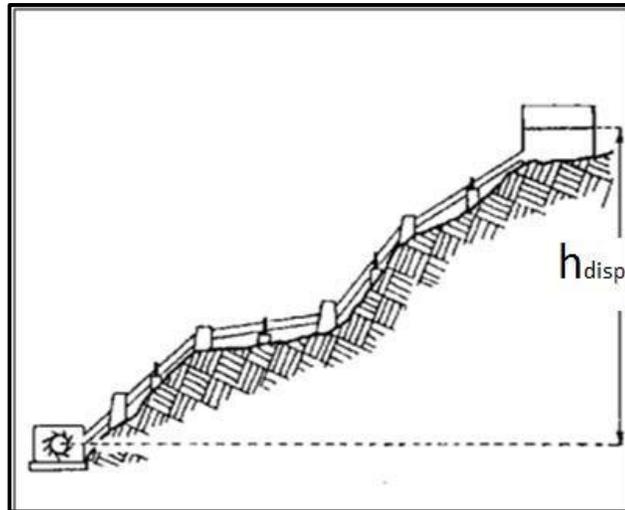


Fig.Nº1: Altura disponible de agua

$$P_{disp} = \frac{\rho \cdot Q \cdot g \cdot h_{disp}}{1000} \dots\dots\dots(6)$$

P_{disp} = Potencia disponible en la caída de agua (Kw)

ρ =Densidad del agua (Kg/m³)

Q =Caudal del agua (m³/s)

g = Aceleración de la gravedad, normalmente es 9,8 (m/s²)

h_{disp} =Salto bruto (m).

C. Casa de máquinas.

➤ Turbina pelton.

- **Salto neto.**

$$H = h_{disp} - \Delta H_{turb} - H_m \dots \dots (7)$$

Altura de $\Delta H_{tub} =$ pérdidas en tubería de presión (m).
 $H_m =$ Altura de montaje de la turbina (m).

- **Triangulo de velocidades**

Se observa que a la entrada de la cuchara, las velocidades absoluta (c_1) y circunferencial (u_1) tienen la misma dirección y sentido; por lo tanto se puede escribir.

$$w_1 = c_1 - u_1 \quad y \quad cu_1 = c_1 \quad (m) \dots \dots (8)$$

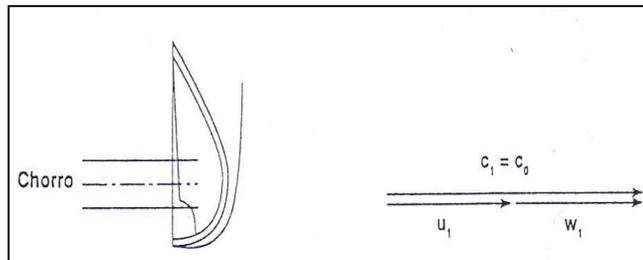


Fig.Nº2: Velocidad del chorro. W. JARA. Maquinas hidráulicas. Pg.86.1998

En las relaciones anteriores se ha despreciado la componente de choque, al considerar nulo el ángulo β_1 (en la práctica no es rigurosamente nulo).

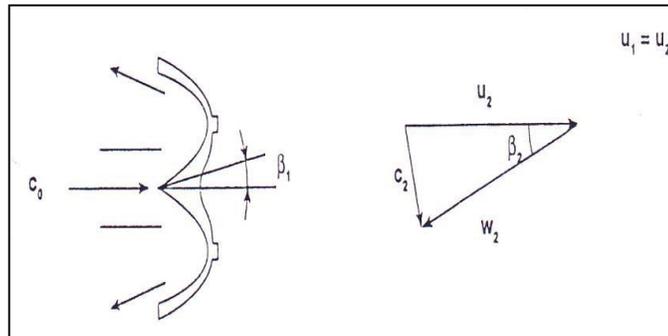


Fig.N°3: Triangulo de velocidades. W. JARA. Maquinas hidráulicas. Pg.86.1998.

A la salida, la dirección de la velocidad relativa (w_2) está definida por el ángulo β_2 (Se define):

$$Cu_2 = u_2 - w_2 \cos \beta_2 \text{ (m)} \dots\dots(9)$$

Se observa que la velocidad de entrada (c_1) es igual a la del chorro.

$$c_1 = c_0 = kc_0 \sqrt{2gH} \text{ (m)} \dots\dots(10)$$

$$kc_0 = 0.95 \text{ a } 0.98$$

A " kc_0 " se le acostumbra a denominar "coeficiente de tobera".

En términos del coeficiente de velocidad, u puede expresarse como:

$$u = k_u \sqrt{2gH} \left(\frac{m}{s}\right) \dots\dots(11)$$

k_u Se puede obtener de:

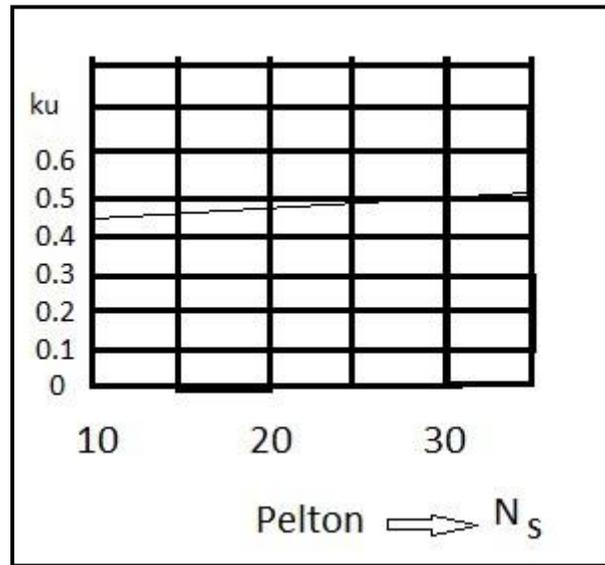


Tabla N °1: Coeficiente de velocidad tangencial. W. JARA. Maquinas hidráulicas. Pg.40.1998.

Además.

$$u = u_1 = u_2 \dots \dots \dots (12)$$

- **Potencia , torque y rendimiento de turbina**

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

$$F_{ch} = \rho Q w_1 + w_2 \cos \beta_2 \quad (N) \dots \dots (13)$$

$$w_2 = k_m w_1 \dots \dots (14)$$

" 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 quedara expresada por:

$$F_{ch} = \rho Q w_1 (1 + k_2 \cos \beta_2) \quad (N) \dots \dots (15)$$

Combinando (8) y (10)

$$F_{ch} = \rho Q \left[kc_0 \sqrt{2gH} - u \right] \left[1 + k_m \cos \beta_2 \right] \dots (16)$$

Esta formula representa la fuerza ejercida por el chorro sobre la rueda, la cual gira con velocidad u . De esta forma, la fuerza será 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.

$$P_{turb} = F_{ch} * u \dots (17)$$

$$P_{turb} = \rho Q \left[kc_0 \sqrt{2gH} - u \right] \left[1 + k_m \cos \beta_2 \right] * u \dots (18)$$

Introduciendo (4) en (11) y ordenando se obtiene:

$$P_{turb} = 2\rho g Q k_u H \left[kc_0 - k_u \right] \left[1 + k_m \cos \beta_2 \right] \dots (19)$$

El torque es igual a:

$$T = \frac{P_{turb}}{\omega} = \frac{P_{turb}(60)}{2\pi N} = \frac{P_{turb} \left(\frac{D}{2} \right)}{u} \dots (20)$$

Combinando (13) con (12) se obtiene:

$$T = \rho g Q D \frac{H}{2g} \left[kc_0 - u \right] \left[1 + k_m \cos \beta_2 \right] \dots (21)$$

O también:

$$P_{turb} = \frac{\rho * g * Q * H * \eta_{turb}}{1000} \dots (22)$$

P_{turb} = Potencia al eje de turbina (KW).

η_{turb} = Eficiencia de la turbina, adimensional.

H = Salto neto (m).

- **Numero especifico de revoluciones (N_s).**

Esta dada por:

$$N_s = \frac{N * \overline{P_{turb}}}{H^3} \quad (RPM) \dots\dots\dots(23)$$

N = Velocidad de rotación de turbina (RPM).

- **Rodete.**

La velocidad del chorro queda definido por:

$$c_1 = k c_0 \sqrt{2 * g * H} \dots\dots(24)$$

Por lo tanto su diámetro (d) queda definido (para la carga de diseño) por:

$$d = \frac{4Q}{\pi j c_0}^{1/2} \dots\dots(25)$$

d: diámetro de chorro (m) j: número de chorros la velocidad circunferencial (u) referida al diámetro pelton (o primitivo) D, está dada por:

$$u = k_u \sqrt{2gH} \dots\dots(26)$$

Según W. JARA. Maquinas hidráulicas. Pg.25.1998

Los límites de la razón $\frac{d}{D} = \frac{\text{diametro chorro}}{\text{diametro pelton}}$, se encuentran en el rango:

$$\frac{1}{80} < \frac{d}{D} < \frac{1}{6} \dots\dots\dots(27)$$

En los extremos el funcionamiento es defectuoso: en el primero $\frac{1}{80}$, el agua tiene un camino largo que recorre antes de entrar en contacto con las cucharas. En el segundo $\frac{1}{6}$, la experiencia demuestra que aumentan las perdidas en la cuchara. Los mejores

rendimientos se obtienen para un diámetro de la rueda de 8 a 15 veces el del chorro

$\frac{d}{D}$ Está relacionado con N_s , aproximadamente por:

$$N_s = 254 \frac{d}{D} \dots\dots(28)$$

• **Forma y dimensionamiento de las cucharas.**

Las dimensiones de la cuchara son proporcionales al diámetro del chorro:

$$w_2 = k_m w_1 \dots\dots(29)$$

Muestra las proporciones habituales. Para evitar una destrucción rápida de la arista media, el ángulo α no debe ser inferior a 20° . El ángulo β de 8 a 12° ; no puede ser más pequeño pues el agua que sale de una cuchara no debe golpear la siguiente. De la misma forma, al comienzo del ataque, el agua que sale de la cuchara debe ser desviada al exterior para no tocar la rueda. Los diámetros de las circunferencias exterior (D_e) y de puntas (D_p) dependen de las proporciones de la cuchara. Cada fabricante dispone de relaciones empíricas para estos diámetros; para un primer cálculo se pueden utilizar las relaciones dadas por:

$$D_p = D + 2 \frac{7}{6} d \dots\dots(30)$$

$$D_e = D_p + d \dots\dots(31)$$

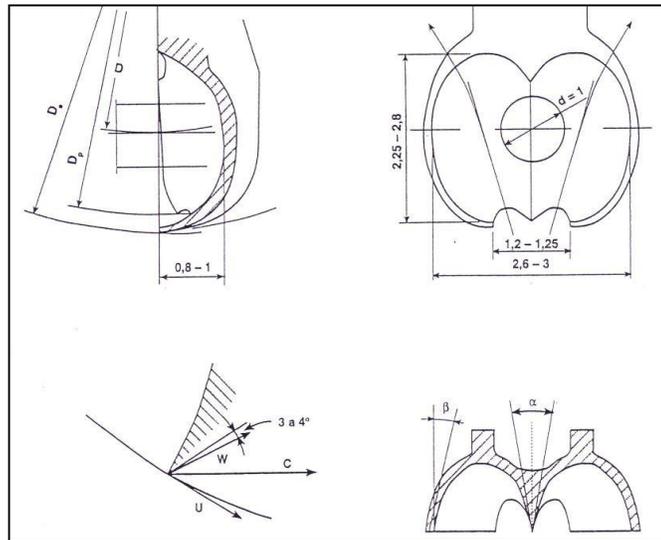


Fig. N°4: Proporciones de las cucharas, referidas al diámetro del chorro unidad ($d = 1$). W. JARA. Maquinas hidráulicas. Pg.90.1998

Según W. JARA. Maquinas hidráulicas. Pg.57.1998

De acuerdo a las tendencias modernas, en la fabricación de este tipo de turbinas, el diámetro exterior (D_e) está relacionado con D y N_s por:

$$(*) D_e = 1.028 + 0.013 D \dots (32)$$

- **Numero de cucharas.**

El número de cucharas debe ser seleccionado de forma tal, que cualquier partícula de agua proveniente del chorro, no pasara por la rueda sin ser desviada por alguna cuchara. La determinación del paso es facilitado por el trazado de las trayectorias.

El trazado de una trayectoria relativa se ilustra en la siguiente figura. El punto A es el comienzo de la trayectoria correspondiente a la generatriz superior del chorro, en este mismo punto la trayectoria es tangente a D_2 . Esta trayectoria corta a la circunferencia de las puntas (K_{up}) en un punto A_1 , tal que:

$$A_1a_1 = u_p \Delta t \quad y \quad Aa_1 = c_0 \Delta t \quad \dots\dots(33)$$

Pues la partícula que parte de A recorre el segmento Aa_1 en el mismo tiempo que el punto de la circunferencia de puntas, que deben reencontrarse en a_1 describe el arco A_1a_1 , de donde:

$$\frac{A_1a_1}{Aa_1} = \frac{u_p}{c_0} = \frac{k_{up}}{kc_0}$$

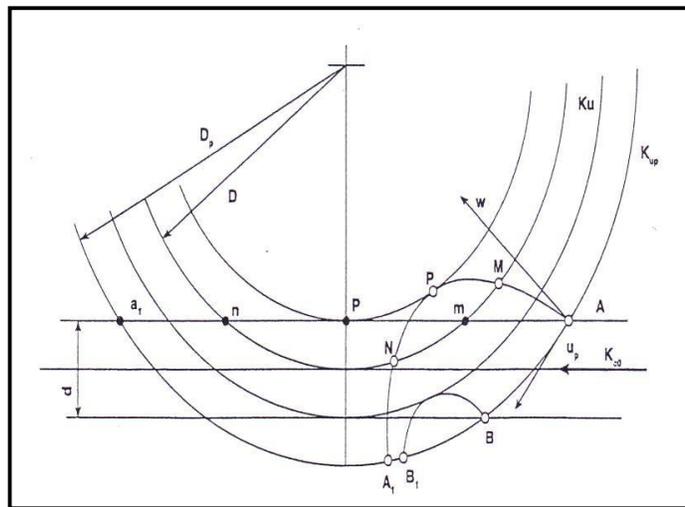


Fig. N°5: Trazado de trayectorias relativas. W. JARA. Maquinas hidráulicas. Pg.91.1998

Esta trayectoria corta al círculo pelton en dos puntos M y N definidos por:

$$\frac{Mm}{Am} = \frac{Nn}{An} = \frac{K_{up}}{Kc_0} \quad \dots\dots(34)$$

La trayectoria relativa de una partícula perteneciente a la generatriz inferior del chorro se extiende de B a B_1 . Todas las trayectorias relativas se encuentran, de esta forma, comprendidas entre las A y B. el paso de la cuchara es , a lo mas , igual al arco BB_1 . Sin embargo, en la práctica, el número de cucharas es elegido mayor al que resulta del paso (arco) BB_1 , de manera de asegurar que , al tomar en cuenta el escote de la cuchara, la parte del chorro que no toca la cuchara atrapara la siguiente.

Un aumento del número específico (N_s) conduce a una disminución del número de cucharas. En la práctica se obtiene buenos resultados haciendo uso de la relación dada por :

$$z = 15 + \frac{D}{2a} \dots\dots(35)$$

z = Número decucharas

- **Orientación de cuchara.**

La arista (intersección de las caras internas de la cuchara) no es radial, si no inclinada respecto al chorro, y tanto más inclinada cuando mayor es el N_s .

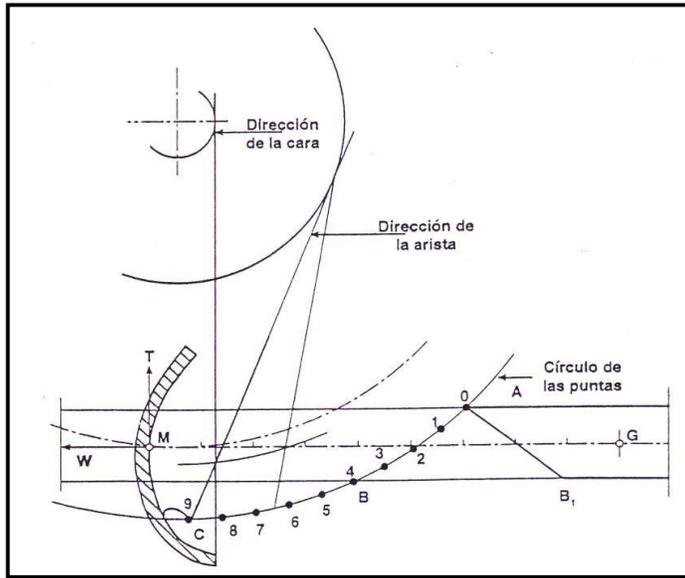


Fig. N°6: Orientación de la cuchara. W. JARA. Maquinas hidráulicas. Pg.92.1998.

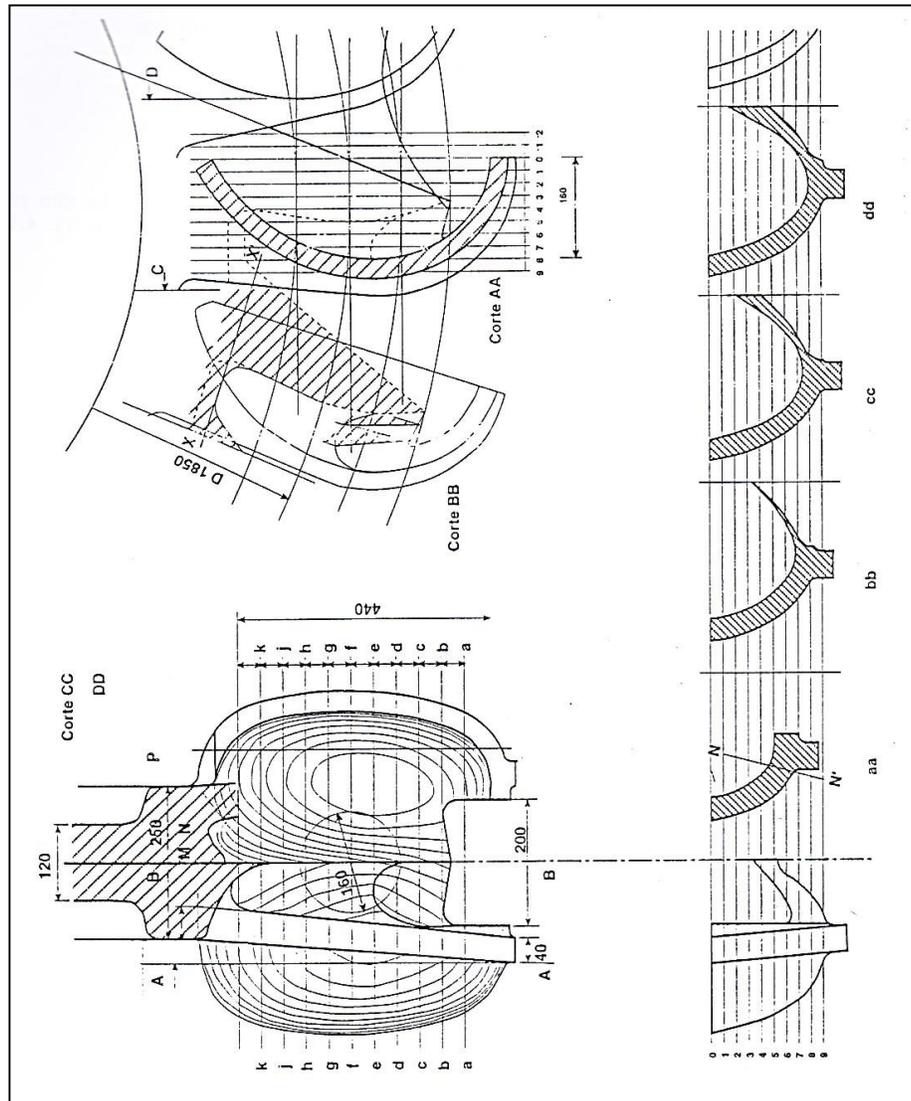


Fig. N°7: Representaciones de las cucharas. W. JARA. Maquinas hidráulicas. Pg.93.1998

- **Inyector.**

- ✓ **Características del inyector.**

El chorro se compone de una zona central convergente, constituida solo por agua; y una zona de sección anular, compuesta de agua y aire. La figura siguiente muestra estas zonas indicadas por los puntos 1 y 2.

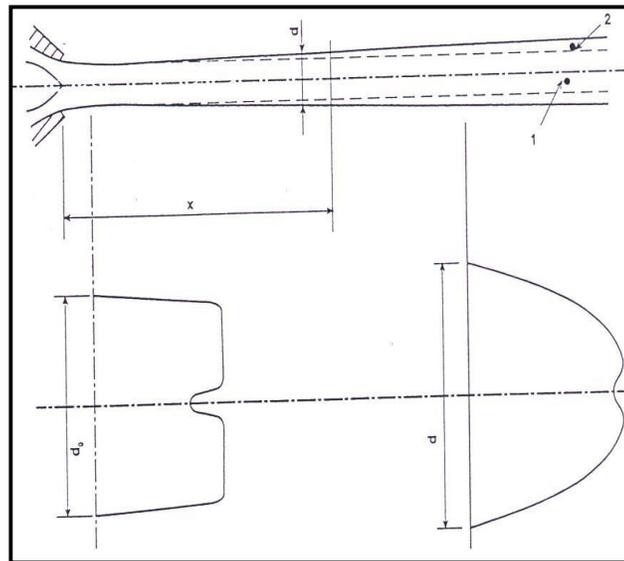


Fig. N°8: Chorro pélon. Repartición de velocidades. W. JARA. Maquinas hidráulicas. Pg.94.1998

Numerosos factores condicionan la dispersión del chorro: geometría del inyector, convergencia de la tobera, carrera (abertura) de la aguja, velocidad del escurrimiento (numero de Reynolds), tensión superficial del liquido (numero de Weber). Mediante un tubo de Pilot colocado en una sección del chorro es posible obtener la presión dinámica ($c_0^2 2g$) y , por ende, la velocidad. En la figura anterior muestra la distribución de velocidades, próxima a la tobera y en una sección alejada de la misma. En el primer perfil se destaca la desaceleración central debido al rose del agua sobre la aguja de inyección; el segundo esta caracterizado por el aumento del diámetro del chorro, con una desaceleración más débil. La energía cinética del chorro decrece a medida que éste se aleja de la tobera, de esta forma se recomienda colocar la rueda tan cerca como sea posible.

En el trazado del inyector, se fijan ciertas condiciones para mejorar la dispersión y ovalización del chorro. Algunas de estas condiciones corresponden a:

- Velocidad baja en la tubería de alimentación; diámetro de esta igual 4 a 5 veces el del chorro.
- Codos de grandes radios en la tubería de alimentación.
Radio del codo igual 4 veces el de la tubería.
- Entre el codo y la tobera colocar un tramo recto de tubería de un largo a lo menos 6 veces el diámetro del chorro.

✓ **Aguja.**

Actualmente las agujas de inyección se fabrican con una forma cónica y un ángulo relativamente elevado (40 a 50°). La tobera es igualmente cónica de ángulo 60 a 90°. La figura siguiente indica proporciones habituales.

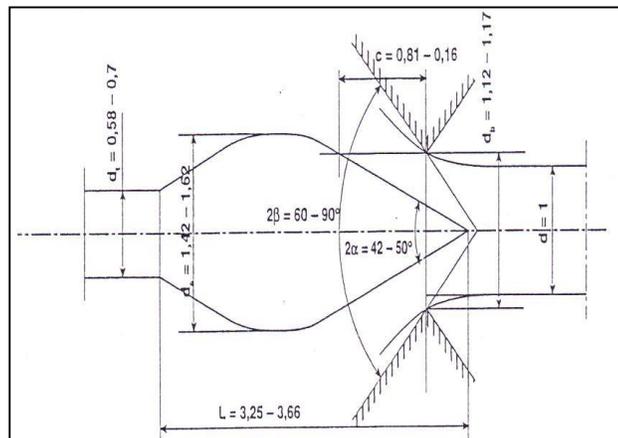


Fig. N°9: Proporciones de la aguja de inyección, para un diámetro de chorro unidad ($d = 1$). W. JARA. Maquinas hidráulicas. Pg.95.1998

✓ **Caudal del inyector.**

En la siguiente figura muestra un inyector (aguja – tobera) para una abertura (carrera) cualquiera c_p . La sección de pasada S del agujero corresponde al área del tronco de cono de generatriz AB.

$$S = \pi AB \frac{d_b}{2} + r \dots\dots\dots(36)$$

d_b : Diámetro de la tobera.

$$r = \frac{d_b}{2} - AB \cos \alpha \dots\dots\dots(37)$$

$$AB = c_p \sin \alpha \dots\dots\dots(38)$$

Reemplazando (26) y (27) en (25) se obtiene:

$$S = \pi c_p \sin \alpha \left(\frac{d_b}{2} - c_p \sin \alpha \cos \alpha \right) \dots\dots\dots(39)$$

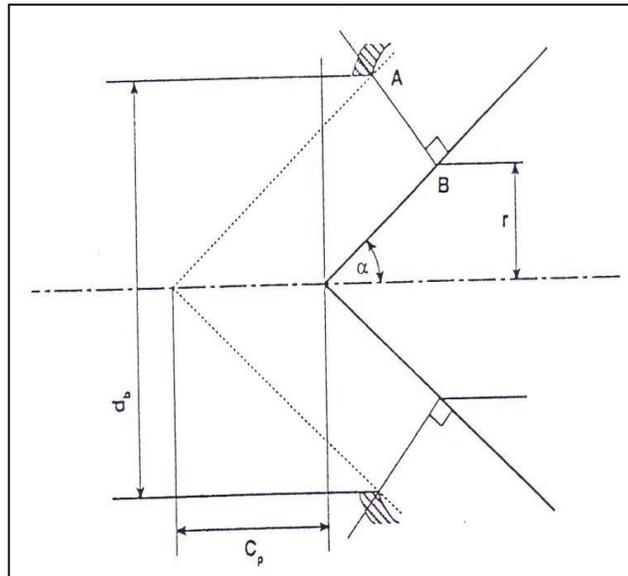


Fig. N°10: Salida de chorro, para un diámetro unidad ($d = 1$).

W. JARA. Maquinas hidráulicas. Pg.96.1998

Sea " φ " un coeficiente de caudal, el cual considera el estrechamiento de la vena líquida a la salida de la tobera. De esta forma, se tiene para el caudal la siguiente relación:

$Q = \varphi S \sqrt{2gH}$ (40) se determina experimentalmente, por ejemplo, para el inyector .CHARMILLES (75°/50°) se tiene la siguiente expresión empírica:

$$\varphi = 0.948698 - 0.223021 \frac{c_p}{d_b} \dots \dots (41)$$

➤ **Regulación de velocidad.**

Para obtener una velocidad constante del grupo generador , existiendo una demanda variable, es necesario que en todo momento la potencia disponible al ingreso del grupo generador, debe ser igual a la potencia eléctrica a la salida de este, más las pérdidas internas del grupo.

$$P_{\text{ingreso}} = P_{\text{salida}} + P_{\text{pérdidas}} \dots \dots (42)$$

➤ **Análisis del factor de seguridad.**

En este caso el análisis estará dado solo para los ejes según tipos de materiales seleccionados.

Esta dada por la fórmula:

$$FS = \frac{\text{Resistencia real}}{\text{Resistencia requerida}} \dots \dots (43)$$

Naturalmente, el factor de seguridad debe ser mayor que 1.0 para evitar falla.

Dependiendo de las circunstancias, los factores de seguridad varían desde un poco más que 1.0 hasta 10.

➤ **Generador asíncrono o motor eléctrico.**

La respuesta física de este motor al aumento de carga, es la disminución de su velocidad. En vacío es la síncrona y

con carga disminuye la cantidad porcentual “S” llamada deslizamiento.

$$S \% = \frac{(n_s - n)}{n_s} * 100 \dots \dots (44)$$

El motor de inducción se convierte en generador cuando el deslizamiento se hace negativo, es decir, cuando a la maquina se le acopla un elemento motriz como una turbina hidráulica que gire a una velocidad ligeramente mayor que la síncrona. Esto causa que la potencia mecánica se convierta en potencia eléctrica activa que fluirá de retorno a la red alimentadora.

El número de polos se halla utilizando la siguiente ecuación:

$$p = \frac{f * 120}{n} \dots \dots (45)$$

p: número de polos f: frecuencia
ciclos/segundo n: velocidad de la
turbina (RPM)

D. Factor de planta y costo Unitario de energía.

El factor de planta es el cociente entre la energía real generada por la central eléctrica durante un período (generalmente de forma anual) y la energía generada si hubiera trabajado a plena carga durante ese mismo período, conforme valores nominales placa de identificación de los equipos. Es una indicación de la utilización de la capacidad de la planta en el tiempo.

$$FP = \frac{P_{usada} * T_{usado}}{P_{ist} * T_{ist}} \dots (46)$$

P_{usada} = Potencia usada o consumida (Kw).

T_{usado} = Periodo de tiempo usado o consumido (horas, días, meses, años).

P_{ist} = Potencia instalada o útil de central eléctrica (Kw).

T_{ist} = Periodo de tiempo instalado (horas, días, meses, años).

El costo unitario de energía es el costo de cada Kilowatt hora consumido.

$$C_{UE} = \frac{C_{anual} + (O + M)}{P_{ist} * 8760h * FP} \dots (47)$$

C_{anual} = Costo anual del capital gastado en instalar la microcentral (S/).

O = Gastos en operaciones de microcentral (S/).

M = Gastos en mantenimiento de microcentral (S/).

E. Obras civiles.

➤ Cámara de carga.

La cámara de carga es rectangular

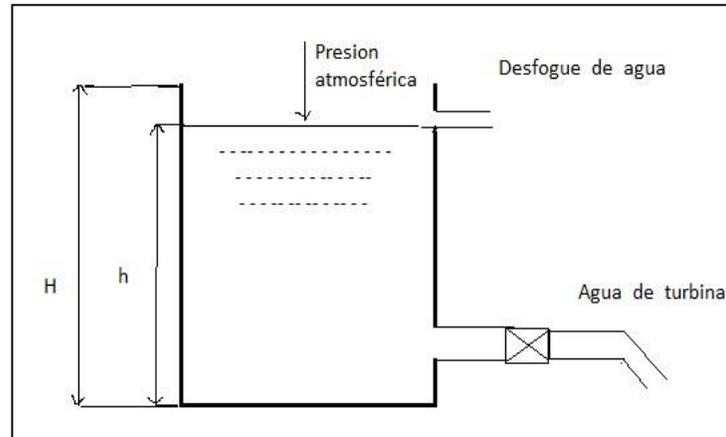


Fig. N°11: Cámara de carga.

$$V_{camara\ carga} = H * L * A \quad m^3 \quad \dots (48)$$

$$V_{liquido} = h * L * A \quad m^3 \quad \dots (49)$$

L = Longitud del tanque (m)

A = Ancho del tanque (m)

➤ **Tuberías de presión.**

Perdidas por fricción en tuberías.

$$h_f = 0.08 \frac{f * L * Q^2}{d^5} \quad \dots (50)$$

f = factor de fricción L = longitud de tubería (m) Q = caudal (m^3/s) d = diámetro de tubería (m) f se puede encontrar en el diagrama de moody.

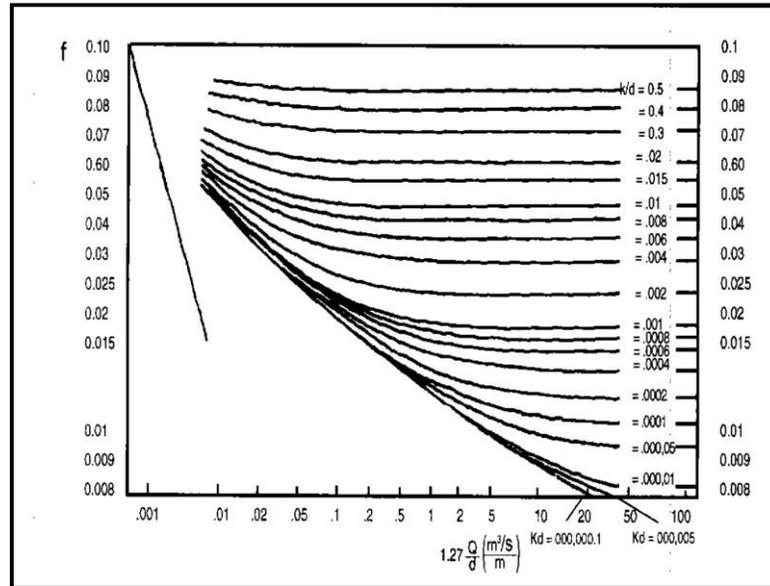


Tabla. N°2: fricción.

Perdidas por turbulencia.

$$h_t = \frac{V^2}{2g} K_1 + K_2 + \dots + K_n \dots \dots (51)$$

K= factor asociado a codos, válvulas, cambios de dirección. g= es la constante de aceleración de la gravedad.

La pérdida de carga total será la suma de pérdidas por fricción más las pérdidas por turbulencia.

$$h_p = h_f + h_t \dots 52 \quad V = \frac{4Q}{\pi d^2} \dots (53)$$

Velocidad del agua en la tubería.

4. Formulación del problema.

¿Cuál es la factibilidad técnica económica para el diseño de una turbina péltón de 50KW en la empresa mineral CUBAVI SRL. ?

5. Justificación del estudio

El presente estudio se justifica por que intenta solucionar un problema real mediante la inclusión dentro de las temáticas enseñadas en los talleres de conocimientos relativos a la hidrología, mecánica y demás actividades necesarias.

a. Relevancia Tecnológica:

- Este proyecto en el sector minero CUBAVI es un estudio tecnológico importante porque realiza el diseño de turbina péltón de 50kw con un bajo consumo unitario de generación eléctrica y una alta durabilidad de energía.
- Debido a la conversión tecnológica que se estará llevando a cabo en la empresa en un futuro cercano, se analizará el accionamiento rotatorio por parte de la turbina en el generador para su respectivo control .

b. Relevancia Institucional.

- La Universidad cesar Vallejo (UCV) demuestra que en su institución se desarrollan trabajos de investigación de interés nacional e industrial, además de ello el egresado se fortalecería con la investigación y con el enriquecimiento de conocimientos, otorgándole mayor prestigio a la universidad.

c. Relevancia Social.

- Se espera que este proyecto de investigación sirva de orientación o como una base de información y conocimiento para su aplicación en otros sectores que usen otro tipo de energía no renovable en Perú y con ello se incentive a las empresas del rubro a la generación energética renovable
- Si la empresa implementa el sistema de generación eléctrica y obtiene energía sobrante, será ella quien decida si lo vende a un menor costo directamente a la población y ello será un gran aporte social.

d. Relevancia Económica.

- Permitirá un ahorro importante en la empresa por cuanto la energía hídrica es mucho más barata que la energía térmica.
- Se espera que los diversos alimentos que consume el personal dure más tiempo , ya que cuenta con energía las 24horas para su congelación de algunos productos fáciles de degradar.

e. Relevancia Ambiental.

- Es una energía renovable y limpia , a diferencia de los motores que utilizan combustibles fósiles y no renovables en grandes cantidades.
- La generación de energía recibida de la microcentral hidroeléctrica ayuda en gran parte a la empresa a consumir menos los combustible no renovables
- solo se ha calculado para un determinado tiempo de uso, desde su ejecución física.

6. Hipótesis:

❖ **Hipótesis Afirmativa.**

H_1 = El diseño de turbina péltón de 50kw para la empresa minera “CUBAVI es posible, obtener sus dimensiones y parámetros mediante cálculos fluido dinámicos.

❖ **Hipótesis Nula.**

H_0 = El diseño de turbina péltón de 50kw para la empresa minera “CUBAVI no es posible, obtener sus dimensiones y parámetros mediante cálculos fluido dinámicos.

7. Objetivos.

1. Objetivo general.

Realizar el diseño de una turbina pelton para la electrificación total de la Empresa Minera “CUBAVI SRL.

2. Objetivos específicos.

- Analizar y describir sus parámetros necesarios.
- Realizar un estudio de la demanda de energía por la empresa minera CUBAVI. SRL.

- Identificar las características geográficas y topográficas para la instalación de la turbina pelton.
- Determinar las obras civiles para la instalación de la turbina pelton.
- Calcular: Rodete, cucharas, inyector, tuberías, ejes, acoples y cojinetes.
- Análisis económico del proyecto.

II. MÉTODO.

1. Diseño de investigación.

Para poder diseñar la turbina péltón primero tenemos que tener en cuenta la demanda de potencia por la empresa minera , luego diseñaremos todo el mecanismo de generación eléctrica y por ultimo una comparación de costos entre la turbina péltón y el grupo electrógeno actualmente operando.

1.1. Demanda de potencia útil requerida.

Se puede determinar la demanda de potencia útil analizando los tipos de artefactos, máquinas e iluminarias dentro de la empresa minera, verificando una aproximación de gasto de potencia de cada uno de ellos

1.2. Evaluación del recurso hidroenergetico.

Realizaremos un estudio de pre-factibilidad del lugar para poder verificar si es posible la instalación de una turbina péltón

1.2.1. Determinación del caudal.

Para determinar el caudal se utilizará el método del recipiente, que consiste en , todo el caudal a medir es desviado hacia un depósito y se anota el tiempo que toma llenarlo. El volumen del depósito se conoce y el resultado del caudal se obtiene simplemente dividiendo este volumen por el tiempo de llenado.

1.2.2. Determinación de cota geodésica.

Para determinar la altura necesaria se realizará el método de la manguera de nivelación, que es más económica, razonable precisión y poco propenso a errores, consiste en medir con una

manguera entre dos personas y tratar de que la nivelación de agua en el interior de la manguera este al nivel de ambos extremos anotándose las diversas medidas que arroje el método, para su mejor precisión se realizara 3 veces la medición como mínimo.

1.3. Cálculo técnico de transformación de hidro-mecánica.

1.3.1. Cálculo de potencia y eficiencia

Se realizará mediante el cálculo de la potencia disponible para el sistema y analizaremos las pérdidas que ocurran en el interior de la tubería y en el proceso de transformación de energía en la turbina pelton

1.3.2. Selección de tuberías, válvulas, codos, etc.

Se tomara de algunos textos ya planteados las pérdidas de diversos accesorios y algunos catálogos que necesitemos para poder calcular toda la instalación hídrica del sistema
Verificando cual es la mejor

1.3.3. Cálculo de la turbina pélton.

Se realizará diversos cálculos dentro de la turbina como diseño de cucharas y rodete, verificando la eficiencia eficaz a ciertas revoluciones específicas de la turbina

1.4. Cálculo técnico de transformación mecánica– eléctrica.

1.4.1. Cálculo y selección de transmisión de potencia (turbina generador).

Se calculara el tipo de torsión que sale del eje de turbina para poder seleccionar el tipo de transformación mecánica mediante catálogos específicos de selección.

1.4.2. Selección del generador eléctrico según fabricantes.

se verifica que potencia va a entrar al generador eléctrico y se verificara según catalogo el tipo de generador a utilizar según fabricante .

1.5. Análisis de obras civiles.

1.5.1. Análisis de anclajes apoyos.

Se realizara analizando las diversas fuerzas que interactuar en el apoyo para poder tener un conocimiento de cómo construir los anclajes y apoyos de la tubería

1.5.2. Diseño de cámara de carga

Se diseñara según especificaciones necesarias para mantener el caudal constante dentro de la tubería

1.6. Análisis económico y financiero de turbina péltón.

Se verificará que el proyecto cumpla con los parámetro de poder realizar la inversión para un periodo de 30 años para una potencia de 15kw ,porque los 30Kw restante lo utilizara el dueño y queremos ver si la obra se paga por sí sola , analizando el flujo de caja interna, el valor actual neto, tasa interna de retorno, beneficio- costo, factor planta y cálculo del costo kwh.

1.7. Análisis económico del grupo electrógeno.

Se realizara un estudio de costos para generar energía en la empresa minera

2. Variables, operacionalización.

2.1. Variable independiente.

- Caudal del flujo disponible.
- Altura geodésica del agua.

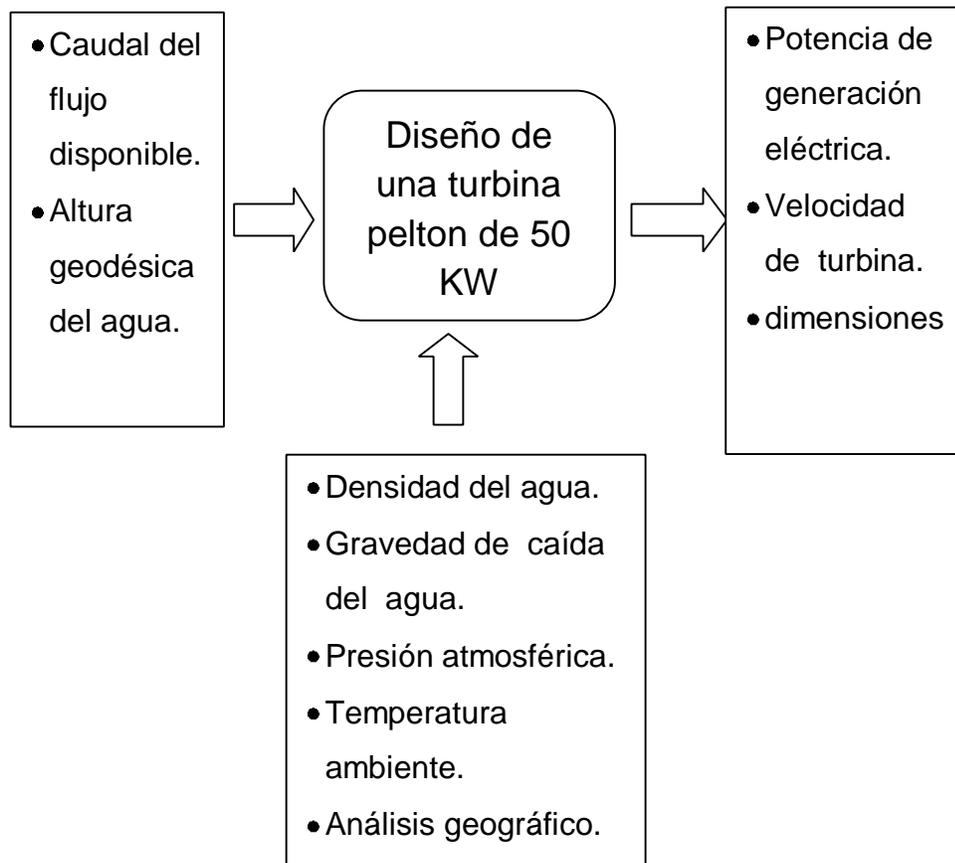
2.2. Variable dependiente

- Potencia de generación eléctrica
- Velocidad de turbina
- Dimensiones.

2.3. Variable interviniente.

- Densidad del agua
- Gravedad de caída del agua
- Presión atmosférica
- Temperatura ambiente

Operalización de variables.



3. Población y muestra.

3.1. Población.

Se ha tomado la micro central hidroeléctrica.

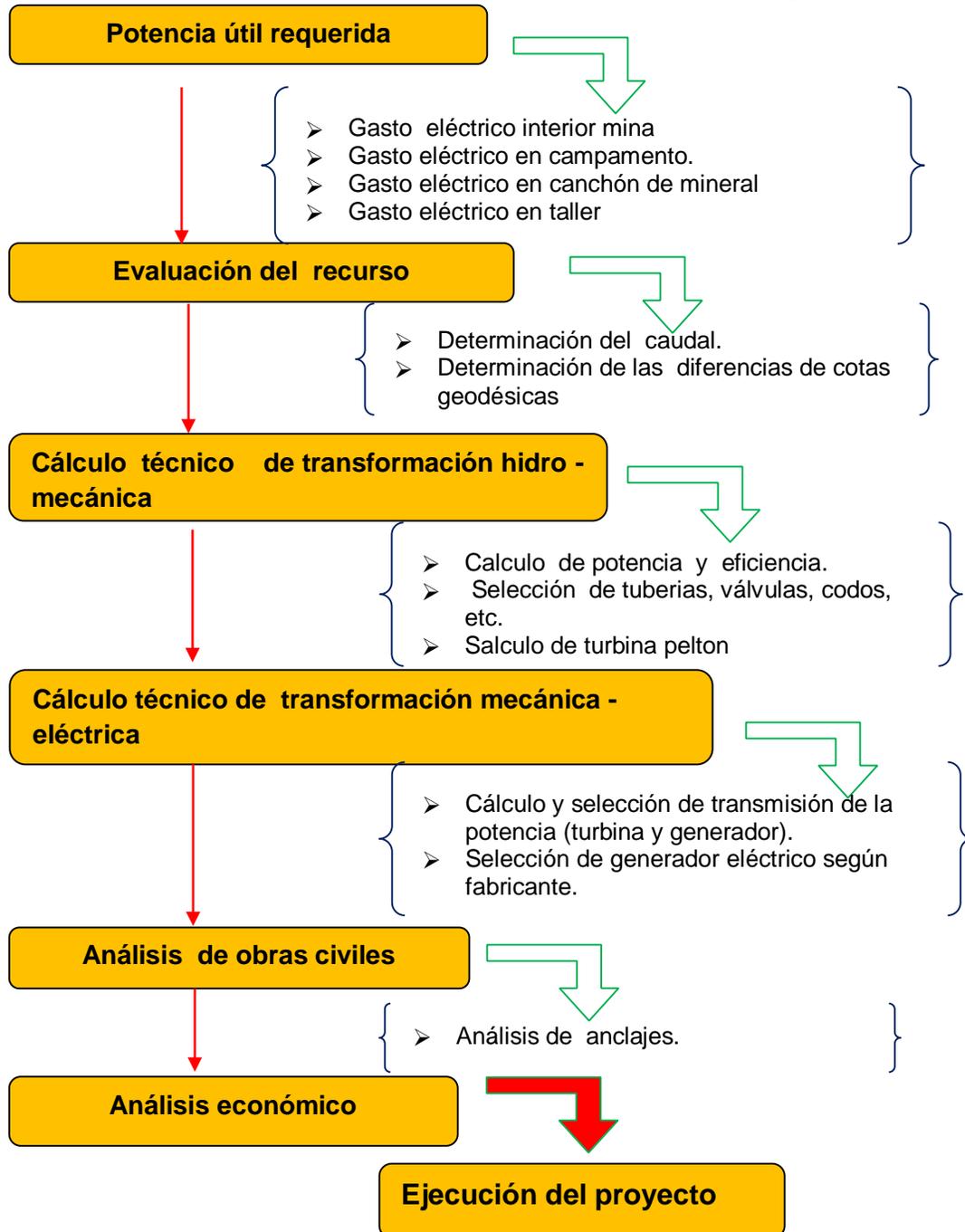
3.2. Muestra.

Se ha tomado la turbina péltón

3.3. Muestreo.

Se realizó un análisis de diseño del proyecto.

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



5. Métodos de análisis de datos.

A continuación se muestra un cuadro indicando las técnicas y/o métodos, su respectivo instrumento de medición y el producto o resultado obtenido de su aplicación como parte de este trabajo.

TÉCNICA - MÉTODO	INSTRUMENTO	PRODUCTO - RESULTADO
OBSERVACIÓN ANÁLISIS DOCUMENTAL	Lista de chequeo de datos, ficha u hoja de registro, cámara fotográfica digital, inspección visual (sensorial – sensopercepción).	Informe de observación, reconocimiento y descripción física de la zona actual, informe de inspección visual de equipos y/o máquinas.
MEDICIÓN	Termómetro, multitester, barómetro, vatihorímetro (medidor de energía en casa).	Información cuantitativa (numérica) del proceso, parámetros necesarios para los balances masa y energía, cálculos ingenieriles, comparación de magnitudes, indicadores, etc.
ANÁLISIS ESTADÍSTICO – ENTREVISTA	Procedimientos estadísticos, muestreo aleatorio simple, diagrama de barras y circulares, herramientas del control de calidad, dispersión, correlación. Guía de entrevista, etc.	Compilación y manipulación estadística del proceso de generación eléctrica, análisis de tiempos perdidos, indicadores en base a historiales. Toma de datos de consultas a especialistas.

ANÁLISIS ANALÍTICO	Balances de energía, balances de masas, análisis energético, cálculos ingenieriles y económicos/financieros, etc.	Presión, caudal, capacidad, potencia y torque de la turbina, etc. Producción eléctrica, energía consumida por empresa, consumos específicos, REE, FUE, ROI,
BIBLIOGRÁFICO	Fichas bibliográficas, revistas, libros de ingeniería-otros, apuntes de clase, tesis, proyectos, manuales, catálogos, etc.	Marco teórico, antecedentes del problema, marco conceptual, registro bibliográfico, referencias bibliográficas, etc.

Tabla N°3: Técnicas, métodos e instrumentos de recolección de datos

6. Aspectos éticos.

Tratar de contribuir con el medio ambiente, ya que hoy en día en gran parte del país y del mundo , hay sectores en donde es escasa la energía publica y por ello utilizan motores de combustión interna que son altamente contaminantes para el medio ambiente. Es por ello que damos a conocer los beneficios que este proyecto brinda para todas las personas que tengan el recurso primordial ; que es el agua para , realizar sus hidroeléctricas.

III. RESULTADOS

1. Demanda de potencia útil requerida.

Se ha determinado los diferentes gastos de energía a horas máximas de funcionamiento diario, estos datos son aproximaciones máximas para cada artefacto usado según el dueño con las características de consumo en un solo día.

LUGAR	MAQUINAS, ARTEFACTOS Y TIPO DE ILUMINACIÓN	CANTIDA D	POTENCI A UNITARI A (w)	POTENCI A TOTAL (w)	POTENCIA (W*H)
CAMPAMENT O (1 Y 2)	-refrigeradora	1	350	350	8400
	-equipo estéreo	5	70	350	1050
	-televisor	5	140	700	2800
	-lavadora	2	650	1300	1300
	-licuadora	1	350	350	350
	-computadora de mesa	1	250	250	3000
	-plancha	2	1000	2000	2000
	-cargador de lámparas -	1	650	650	5200
	cargador de radio para comunicación	1	50	50	50
	-fluorescente	6	40	240	1440
	-foco ahorrador	8	20	160	960
				6400	26550
TALLER (1 Y 2)	-amoladora	2	700	1400	1400
	-máquina de soldar	1	4000	4000	8000
	-taladro	2	650	1300	1300
	-fluorescente	4	40	160	640
				6860	11340
INTERIOR MINA	-fluorescente	4	40	160	3840
	-foco ahorrador	10	20	200	4800
	Máquina perforadora	3	2500	7500	22500
				7860	31140

CANCHÓN DE MINERAL	-fluorescente	4	40	160	1920
	-foco ahorrador	3	20	60	720
	Chancadora de mineral	1	7500	7500	15000
				7720	17640
ENERGÍA PARA VENTA			15000	15000	360000
TOTAL		43.84KW			446.67KW*h

Tabla N°4: Gastos aproximados de energía máxima diaria dentro de empresa

$$P_{\text{util reque.}} = 43.84 \text{ KW}$$

$$P_{\text{util reque h*KW.}} = 446.67 \text{ KW} * \text{ hora}$$

2. Evaluación del recurso hidroenergético.

Como paso primordial de este sistema se determina el caudal necesario y la altura disponible.

2.1. Determinación de la cota geodésica.

Se realizó por el método de manguera de nivelación.

Pasos a seguir:

- A. Persona "Y" mide la altura A1 al nivel de agua de la futura cámara de carga.

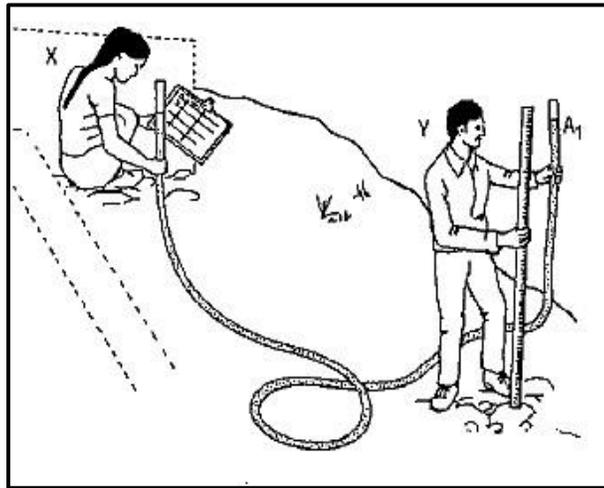


Fig. N°12: Midiendo desde cámara de carga

- B. La persona “Y” permanece en su posición y mide B1, la persona “X” puede caminar cuesta abajo y medir A2.

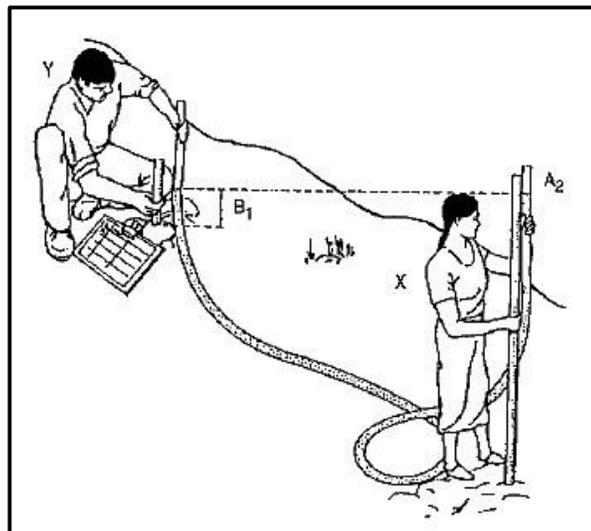
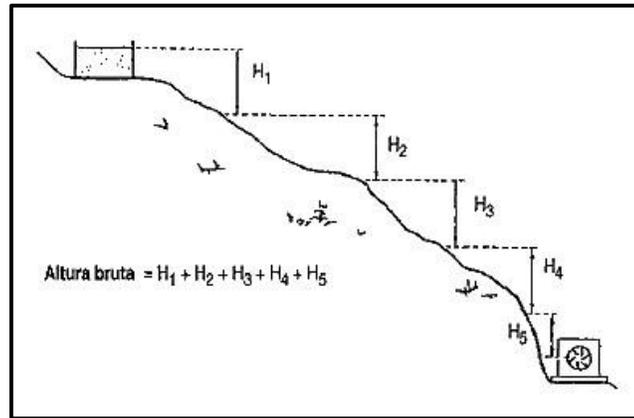


Fig. N°13: Midiendo desde la persona “Y”

C. Finalmente sumar todas las alturas.



$$h_{disp} = 120\text{m}$$

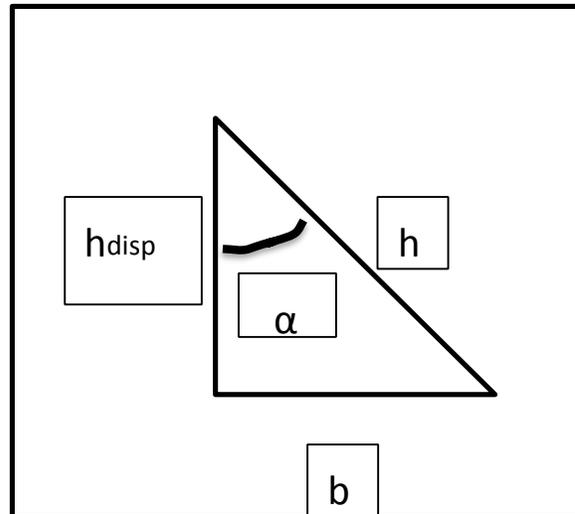


Fig. N°14: Longitud de la tubería según hipotenusa

Datos:

$$h_{\text{disp}} = 120\text{m} \qquad \alpha = 45^\circ$$

Operación:

$$h_{\text{disp}} = h \cos \alpha \dots (54)$$

$$h = \frac{a}{\cos \alpha}$$

$$h = \frac{120\text{m}}{\cos 45}$$

$$\boxed{h = 169.707\text{m}}$$

2.2. Determinación del caudal.

Para medir el caudal del agua que en este caso es constante, utilizamos el método del recipiente.

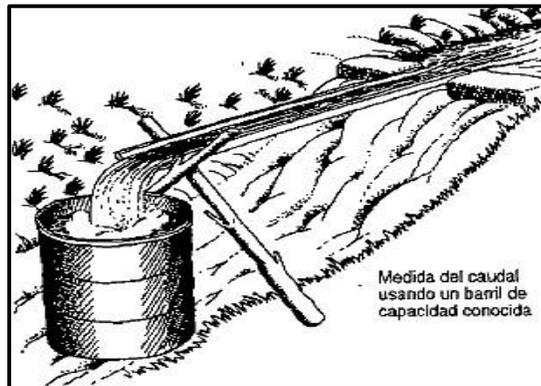


Fig. N°15: Medida de caudal

- A. Usamos un recipiente de 4000 litros realizado con sacos de arena y cubicado según requerimientos, sabiendo el margen de llenado.
- B. Como el agua sale de la mina siempre es constante el flujo en diversas temporadas.

C. Calculamos en un minuto cuanto llenó.

D. Es por eso que el resultado nos arrojó de $V = 3066$ litros.

$$Q = 3066 \frac{lt}{min} = 0.0511 \frac{m^3}{s}$$

3. Calculo técnico de transformación hidro-mecánico.

3.1. Datos obtenidos para el cálculo.

- La gravedad es por dato general $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ y la densidad del agua es según temperatura promedio del ambiente el cual en dicha zona se maneja $25 \text{ }^\circ\text{C}$ como máximo por consiguiente la densidad es 997 kg/m^3
- la presión atmosférica se verifica según altitud geográfica de 2100 msnm el cual es de 78560 pascal .

3.2. Calculo de potencia de entrada a turbina.

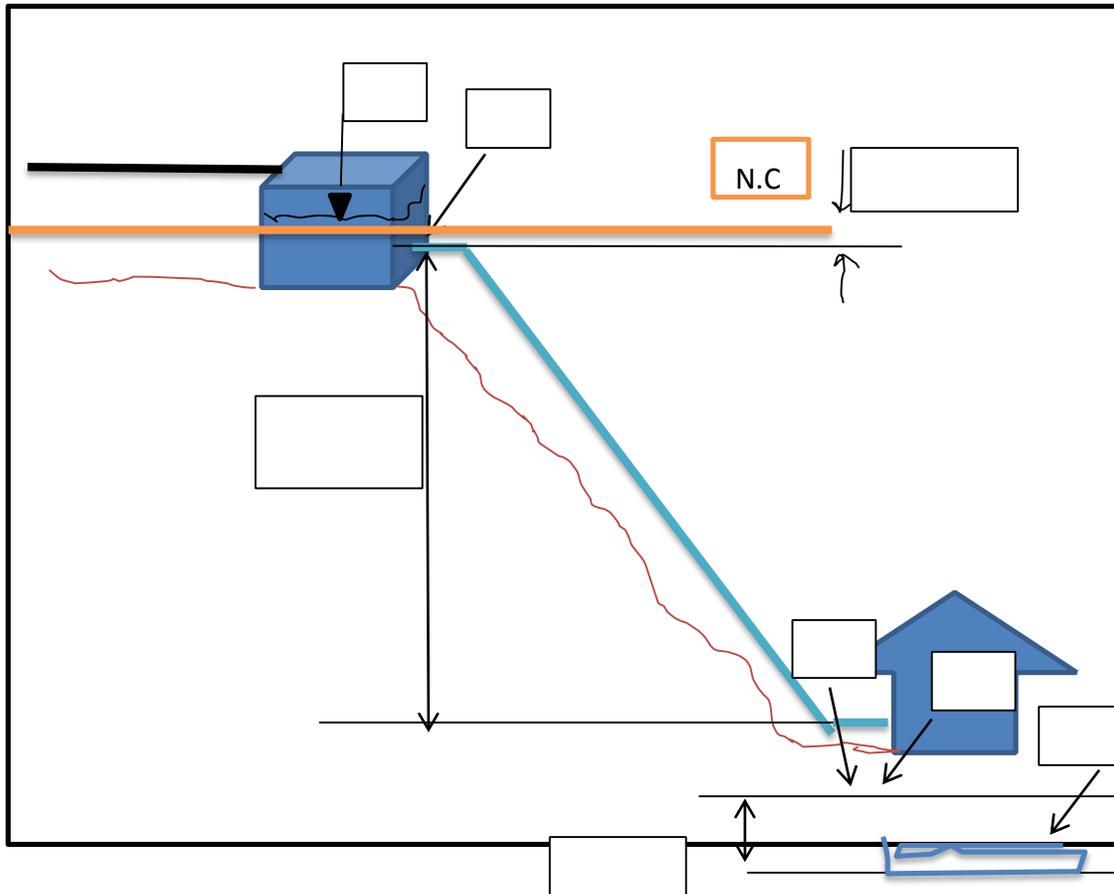


Fig. N°16: Evaluación de la turbina péltón

Velocidad en el punto “a”.

$$D_a = D_b = 6" = D_{\text{nominal}} = 0.1524\text{m}$$

⇒ Este diámetro se considero para una tubería de acero al carbono de grado A SCH 40 según ACEROS AREQUIPA, en 3" , 4 "y 5 " la pérdida de altura es mucho mayor ya que el terreno es limitado para este Proyecto.

El diámetro de 6. interior según ACEROS AREQUIPA para el espesor de

máxima resistencia de presión es =7.11mm

$$D_{\text{int.tub}} = 154.08\text{mm}$$

$$Q_{\text{tuberia}} = V_a * A_a \dots\dots (55)$$

Dato.

Q_{tuberia} = caudal que ingresa a tuberia de hidroelectrica ($\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$) *

V_a = velocidad de entrada a tuberia $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ *

A_a = area de tuberia interna (m²) *

$$V_a = \frac{Q_{\text{tuberia}}}{A_a} = \frac{Q_{\text{tuberia}}}{\frac{\pi * D_a^2}{4}} = \frac{0.0511\text{m}^3/\text{s}}{\frac{\pi * 0.15408^2}{4}}$$

$$V_a = V_{\text{turbina}} = 2.74\text{m/s}$$

⇒ **Ecuación de Bernoulli entre (1) y (a).**

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_a}{\rho g} + \frac{V_a^2}{2g} + Z_a \dots\dots (56)$$

Dato.

$P_1 = P_{\text{atm}}$ = Presion atmosferica segun altitud $\frac{\text{N}}{\text{m}^2}$

$V_1 = 0$ = Velocidad en el punto 1 es constante ($\frac{\text{m}}{\text{s}}$)

$Z_1 = 0$ = Altura el punto 1 en donde esta el Nivel Cero (m)

$$P_a = \text{Presion en la entrada de tuberia } \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$V_a = \text{Velocidad en la entrada de tuberia } \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)$$

$$Z_a = h_{1 \rightarrow a} = \text{Altura hasta el punto "a" (m)}$$

$$g = \text{Gravedad de la tierra } \left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)$$

$$\rho = \text{Densidad del agua } \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{0^2}{2g} + 0 = \frac{P_a}{\rho g} + \frac{V_a^2}{2g} + Z_a$$

$$P_a = P_1 - \frac{\rho V_a^2}{2} - \rho g Z_a$$

$$P_a = 78560 \text{N/m}^2 - \frac{997 \text{kg/m}^3 \cdot 2.74 \text{m/s}^2}{2} - \frac{997 \text{kg}}{\text{m}^3} * \frac{9.81 \text{m}}{\text{s}^2} * -1$$

$$P_a = 84598.03 \text{N/m}^2$$

⇒ **Ecuación de Bernoulli entre (a) y (b).**

$$\frac{P_a}{\rho g} + \frac{V_a^2}{2g} + Z_a = \frac{P_b}{\rho g} + \frac{V_b^2}{2g} + Z_b + H_{a \rightarrow b}$$

Dato.

$$P_b = \text{Presion interior al final de la tuberia } \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$V_b = V_a = \text{Velocidad en toda la tuberia } \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)$$

$$Z_b = h_{1 \rightarrow b} = \text{Altura desde el punto N. C hasta el punto "b" (m)}$$

$$P_a = \text{Presion en la entrada de tuberia } \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$Z_a = h_{1 \rightarrow a} =$ Altura hasta el punto "a" (m)

$H_{a \rightarrow b} =$ pérdidas totales en el interior de tubería m

$$\frac{P_a}{\rho g} + \frac{V_a^2}{2g} + Z_a = \frac{P_b}{\rho g} + \frac{V_b^2}{2g} + Z_b + H_{a \rightarrow b}$$

$$\frac{P_b}{\rho g} = \frac{P_a}{\rho g} + Z_a - Z_b - H_{a \rightarrow b}$$

$$\boxed{P_b = P_a + \rho g Z_a - \rho g Z_b - \rho g H_{a \rightarrow b}} \dots\dots\dots(57)$$

⇒ **Pérdida total en tuberías.**

$$\boxed{H_{a \rightarrow b} = h_{\text{mayores}} + h_{\text{menores}}} \dots\dots\dots(58)$$

➤ **Pérdidas mayores.**

$$h_{\text{mayores}} = \frac{f}{D_a} * \frac{L}{2g} * \frac{V_a^2}{2g} \dots\dots\dots(59)$$

Dato.

$f =$ fricción de la pared en tubería

$V_b = V_a =$ Velocidad en toda la tubería ($\frac{m}{s}$)

$L =$ longitud total de tubería instalada(m)

$P_a =$ Presión en la entrada de tubería $\frac{N}{m^2}$

$D_a =$ Diámetro de tubería(m)

$$h_{\text{mayores}} = \frac{f \cdot 169.71\text{m} + 1\text{m}}{0.15408\text{m}} * \frac{2.74\text{m/s}^2}{2 * 9.81\text{m/s}^2}$$

$$h_{\text{mayores}} = f * 423.95 \dots \dots \dots (60)$$

$$f = \frac{0.25}{\log \left[\frac{1}{3 * \frac{D_a}{\epsilon}} + \frac{5.74}{\text{Re}^{0.9}} \right]^2} \dots \dots \dots (61)$$

$$\text{Re} = \frac{V_a * D_a}{\nu} \dots \dots (62)$$

Dato.

Re = Reynolds *

ν = viscosidad cinematica $\frac{\text{m}^2}{\text{s}}$ *

ϵ = Rugosidad absoluta para tuberia de acero comercial (m) *

$\nu = 8.94 * 10^{-7} \text{m}^2/\text{s} \Rightarrow$ Este valor esta a 25c°

$$\text{Re} = \frac{2.74\text{m/s} * 0.15408\text{m}}{8.94 * 10^{-7} \text{m}^2/\text{s}}$$

$$\text{Re} = 472236.24$$

❖ **Rugosidad relativa**

$$e = \frac{D_a}{\epsilon} = \frac{0.15408}{3 * 10^{-5}}$$

$$e = 5136$$

❖ **Según la ecuacion (61)**

$$f = \frac{0.25}{\log \frac{1}{3 * \frac{0.15408m}{3 * 10^{-5}}} + \frac{5.74}{472236.24^{0.9}}}$$

$$f = 0.016$$

❖ **Según la ecuación (60).**

$$h_{\text{mayores}} = 0.016 * 423.95m$$

$$h_{\text{mayores}} = 6.78m$$

➤ **Pérdidas menores.**

$$h_{\text{menores}} = \frac{k V_a^2}{2g} \dots \dots (63)$$

Dato.

*k = coeficiente de Perdida

TIPO DE ACCESORIO	DESCRIPCIÓN	LONGITUD EQUIVALENTE
Válvula de compuerta	Completamente abierta	8f
Codo estándar de 45°		16f

Tabla N°5: Longitudes equivalentes. B. NEKRASOV. Hidráulica. Pg 45. 1968

$$K_1 = 8f = 8 * 0.016 = 0.128$$

$$K_2 = 16f = 16 * 0.016 = 0.256$$

$$K_3 = 1 \Rightarrow$$

conducto de proyeccion hacia adentro de camara de carga

$$h_{\text{menores}} = \frac{2 * 0.128 + 2 * 0.256 + 1 * 2.74\text{m/s}^2}{2 * 9.81\text{m/s}^2}$$

$$h_{\text{menores}} = 0.68\text{m}$$

Según la ecuación (58).

$$H_{a \rightarrow b} = h_{\text{mayores}} + h_{\text{menores}}$$

$$H_{a \rightarrow b} = 6.78\text{m} + 0.68\text{m}$$

$$H_{a \rightarrow b} = 7.47\text{m}$$

Según ecuación (57) la presión interior al final de la tuberías es:

$$P_b = P_a + \rho g Z_a - \rho g Z_b - \rho g H_{a \rightarrow b}$$

$$P_b = \frac{84598.0314 \text{ N}}{\text{m}^2} + \frac{997 \text{ Kg}}{\text{m}^3} * \frac{9.81 \text{ m}}{\text{s}^2} * -1 - \frac{997 \text{ Kg}}{\text{m}^3} * \frac{9.81 \text{ m}}{\text{s}^2} * -121 - \frac{997 \text{ Kg}}{\text{m}^3} * \frac{9.81 \text{ m}}{\text{s}^2} * 7.47 \text{ m}$$

$$P_b = 1185205.57 \text{ N/m}^2$$

Tubo ASTM A53			
DESIGNACIONES Y PESOS NOMINALES en kg/m			
DESIGNACIÓN	DIÁMETRO EXTERIOR (mm)	ESPESOR SCH-40 (mm)	PESO SCH-40 (Kg/m)
1/8"	10.3	1.73	0.370
1/4"	13.7	2.24	0.630
3/8"	17.1	2.31	0.840
1/2"	21.3	2.77	1.270
3/4"	26.7	2.87	1.690
1"	33.4	3.38	2.500
1 1/4"	42.2	3.56	3.390
1 1/2"	48.3	3.68	4.050
2"	60.3	3.91	5.440
2 1/2"	73.0	5.16	8.630
3"	88.9	5.49	11.290
3 1/2"	101.6	5.74	13.570
4"	114.3	6.02	16.070
5"	141.3	6.55	21.770
6"	168.3	7.11	28.260

Fig.17.tubería de aceros Arequipa. Catálogo. pag8.2012

propiedades mecánicas del tubo de acero comercial de grado A

Resistencia a la tracción mínima = 330Mpa

Límite de fluencia mínima = 205Mpa Longitud

de tubería 7 metros

$$P > P_b$$

$$P_b = 1185205.57 \text{ N/m}^2 = 1.19 \text{ MPas}$$

205MPa > 1.19MPas Si cumple con la condición.

⇒Calculamos la altura neta entre el punto (1) y (2).

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 - H_{neta} = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + H_{1 \rightarrow 2}$$

Dato.

$$P_1 = P_2 = P_{atm} = \text{Presion atmosferica } \frac{N}{m^2}$$

$$V_1 = 0 = \text{Velocidad en el punto uno es constante } \left(\frac{m}{s}\right)$$

$$V_2 = 0 = \text{Velocidad en el punto dos es constante } \left(\frac{m}{s}\right)$$

$$Z_1 = 0 = \text{Altura en el punto N. C(m)}$$

$$Z_2 = h_{1 \rightarrow 2} = \text{Altura hasta el punto "2" (m)}$$

$$H_{1 \rightarrow 2} = H_{a \rightarrow b} = \text{perdidas totales en el interior de tuberia m}$$

$$H_{neta} = \text{Altura neta de turbina (m)}$$

$$\cancel{\frac{P_1}{\rho g}} + \cancel{\frac{V_1^2}{2g}} + \cancel{Z_1} - H_{neta} = \cancel{\frac{P_2}{\rho g}} + \cancel{\frac{V_2^2}{2g}} + Z_2 + H_{1 \rightarrow 2}$$

$$\boxed{H_{neta} = -Z_2 - H_{1 \rightarrow 2}} \dots\dots\dots(64)$$

$$Z_2 = h_{1 \rightarrow 2} = h_{1 \rightarrow a} + h_{a \rightarrow b} + H_m$$

si a H_m le damos un valor de montaje de 0.5m entonces la ecuacion 64 sera:

$$H_{neta} = - h_{1 \rightarrow a} + h_{a \rightarrow b} + H_m - H_{1 \rightarrow 2}$$

$$H_{neta} = - -1m + -120m - 0.43m - 8.62m$$

$$H_{neta} = - -121.43m - 7.47m = 112.81m$$

$$H_{neta} = 112.81m$$

⇒ **Potencia de entrada a turbina.**

$$P_{ent_{turb}} = H_{neta} * \rho * g * Q \dots \dots (65)$$

$$P_{ent_{turb}} = 112.81m * 997kg/m^3 * 9.81m/s^2 * 0.0511m^3/s$$

$$P_{ent_{turb}} = 56380.986 w$$

3.3. Calculo de turbina pelton.

A. Potencia de salida ideal.

$$P_{eje_{turbina_{ideal}}} = \frac{P_{generador}}{\eta_{mec} * \eta_{gener}} \dots \dots (66)$$

RENDIMIENTOS CARACTERÍSTICOS PARA UNA ETAPA DE LAS TRANSMISIONES

Transmisiones dentadas	96%
Transmisiones por cadena	97.99%
Transmisiones por correa plana	95-97%
Transmisiones por correa trapezoidal	96%
Transmisiones por tornillo sin fin	75-90%

Fig. N°18: Rendimientos de distintos tipos de transmisión sugeridos. SULZER. Fundamentos hidráulicos para instalaciones. División turbinas. Pag53.1982

$\eta_{mec} \Rightarrow$ tomamos la transmisión dentada

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE GENERADOR GENPACK	
Potencia(kw)	45
Voltaje trifásico (v)	380
Voltaje monofásico (v)	220
Frecuencia (Hz)	60
Velocidad (RPM)	1800
Pares de polos	2
Eficiencia	98%
$\cos\phi$	0.9

Tabla N°6: Características técnicas del generador GENPACK

$$P_{eje\ turbina\ ideal} = \frac{45000w}{0.96 * 0.98}$$

$$P_{\text{eje turbina ideal}} = 47831.63 \text{ w} = 64.1175 \text{ HP} = 64.76 \text{ CV}$$

B. Numero especifico ideal de revoluciones de potencia ($N_{s \text{ ideal}}$).

$$N_{s \text{ ideal}} = N \frac{P_{\text{eje turbina ideal}}^{1/2}}{H_{\text{neta}}^{5/4}} \dots \dots \dots (67)$$

Dato.

$P_{\text{salida turbina ideal}}$ = potencia de la turbina maxima cv

N = Velocidad del generador (rpm)

H_{neta} = Altura neta del sistema (m)

$$N_{s \text{ ideal}_1} = 1800 \text{ RPM} \frac{64.76 \text{ CV}^{1/2}}{114.73 \text{ m}^{5/4}}$$

$$N_{s \text{ ideal}_1} = 38.57$$

⇒ Se tendrá que instalar un sistema de transmisión de faja trapezoidal para bajar la revolución a los valores

$0.44 \leq K_u \leq 0.48$ y $\frac{d_{\text{chorro}}}{D_p} \leq 0.1$, porque no está en los requerimientos especificados para un buen funcionamiento.

$$N_{s_{ideal2}} = 900 \frac{64.76^{1/2}}{114.73^{5/4}}$$

$$N_{s_{ideal2}} = 19.3$$

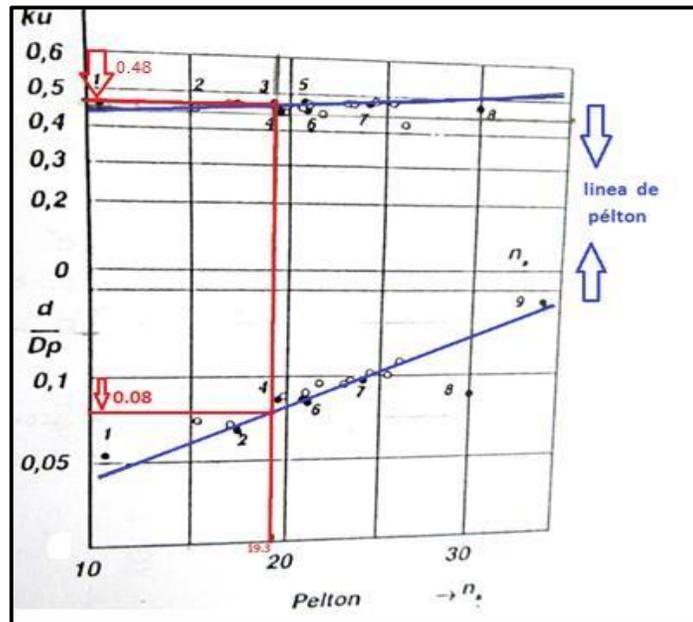


Tabla N°7: Coeficiente de velocidad tangencial. W. JARA.
Maquinas hidráulicas. Pg.40.1998

⇒ con este numero especifico si cumple con valores requeridos,
entonces tomaremos el $N_{s_{ideal2}} = 19.29$
como valor fundamental .

C. Numero de chorros (Z).

$$N_{\text{sideal}} = 576 * \eta_{\text{totalturb}} * K_c^{0.5} * Z^{0.5} * K_u * \frac{d_{\text{chorro}}}{D_p} \dots (68)$$

⇒ se toma como recomendacion: $\frac{d_{\text{chorro}}}{D_p}$

$$= \frac{1 \text{ ves el diametro del chorro}}{10 \text{ veces el diametro de la rueda}}$$

Dato.

K_c = coeficiente de tobera , se estima de 0.95 a 0.98 voy a tomar el promedio entre los dos valores $K_c = 0.965$

$\eta_{\text{totalturb}}$ = eficiencia total de turbina usaremos una eficiencia aproximada de 0.85

K_u = coeficiente de velocidad tangencial su valor varia entre 0.44 y 0.48 tomaremos 0.48

⇒ despejamos Z.

$$Z_2 = \frac{N_{\text{sideal}_2}}{576 * \eta_{\text{totalturb}}^{0.5} * K_c^{0.5} * K_u * \frac{d_{\text{chorro}}}{D_p}} \quad 2$$

$$Z_2 = \frac{19.3}{576 * 0.85^{0.5} * 0.965^{0.5} * 0.48 * 0.1}$$

$Z_2 = 0.6$ aproximamos al entero mayor

$Z_2 = 1$ este tomamos para nuestro proyecto

⇒ Ahora determinamos la fricción $\frac{d_{\text{chorro}}}{D_p}$ real para la turbina

$$\frac{d_{\text{chorro}}}{D_p} = \frac{N_{\text{sideal}_2}}{576 * \eta_{\text{totalturb}}^{0.5} * K_c^{0.5} Z^{0.5} * K_u}$$

$$\frac{d_{\text{chorro}}}{D_p} = \frac{19.3}{576 * 0.85^{0.5} * 0.965^{0.5} * 1^{0.5} * 0.48}$$

$$\frac{d_{\text{chorro}}}{D_p} = 0.0804274$$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{d_{\text{chorro}}}{0.0804274} = D_p} \dots\dots\dots (69)$$

D. Diámetro del chorro.

$$d_{\text{chorro}} = \frac{4Q}{\pi * Z * K_c * \sqrt{2 * g * H_{\text{neto}}}}$$

$$d_{\text{chorro}} = \frac{4 * 0.0511\text{m}^3/\text{s}}{\pi * 1 * 0.965 * \sqrt{2 * 9.81\text{m}/\text{s}^2 * 112.81\text{m}}}$$

$$d_{\text{chorro}} = 0.037857\text{m} = 37.857\text{mm}$$

E. Diámetro de paso del rodete.

Aplicando la ecuación número (69)

$$D_p = \frac{d_{chorro}}{0.0804274}$$

$$D_p = \frac{0.037857m}{0.0804274}$$

$$D_p = 0.470698m = 470.698mm$$

F. Diámetro exterior del rodete.

$$D_{exter} = D_p + 2 * d_{chorro} \dots \dots (70)$$

$$D_{exter} = 0.470698m + 2 * 0.037857m$$

$$D_{exter} = 0.546412m = 546.412mm$$

G. Diámetro interior del rodete.

$$D_{inter.} = D_p - 2 * d_{chorro}$$

$$D_{inter.} = 0.470698m - 2 * 0.037857m$$

$$D_{inter.} = 0.394984m = 394.984$$

H. Longitud de arco entre cuchara y cuchara.

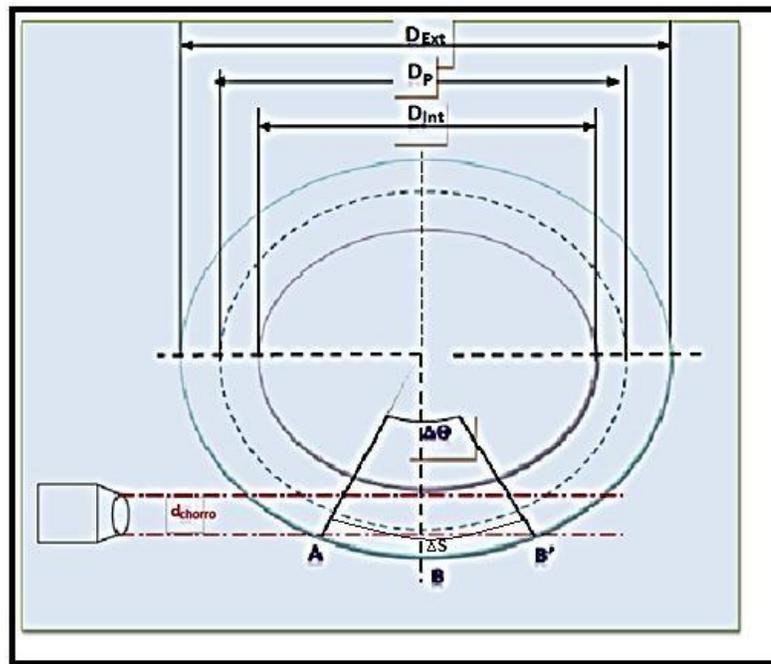


Fig. N°19: Dimensionamiento de turbina

$$\cos \frac{\Delta\theta}{2} = \frac{\frac{D_p + d_{chorro}}{2}}{\frac{D_{exter}}{2}} \dots\dots(71)$$

Dato:

$\theta = \text{Paso angular (Grados)}$

$$\Delta\theta = 2\arcsin \frac{D_p + d_{\text{chorro}}}{D_{\text{exter}}} \dots\dots (72)$$

$$\Delta\theta = 2\arcsin \frac{0.470698m + 0.037857m}{0.546412m}$$

$$\Delta\theta = 42.9063^\circ = 0.7489 \text{ rad}$$

\Rightarrow arco AB'

$$AB' = \Delta\theta * \frac{D_{\text{exter}}}{2} \dots\dots(73)$$

$$AB' = 0.7489 \text{ rad} * \frac{0.546412m}{2}$$

$$AB' = 0.204604m = 204.604mm$$

\Rightarrow Longitud o segmento AB'

$$AB' = 2 * \frac{D_p}{2} + d_{\text{chorro}} * \sin \frac{\Delta\theta}{2} \dots\dots (74)$$

$$AB' = 2 * \frac{0.470698m}{2} + 0.037857m * \sin \frac{42.9063^\circ}{2}$$

$$AB' = 0.199845m = 199.845mm$$

\Rightarrow Arco BB' .

$$BB' = \frac{K_u * D_{exter} * AB'}{K_c * D_p} \dots \dots (75)$$

$$BB' = \frac{0.48 * 0.546412m * 0.199845m}{0.965 * 0.470698m}$$

$$BB' = 0.115395 = 115.395m$$

⇒ Longitud de arco AB.

$$AB = AB' - BB'$$

$$AB = 0.204604m - 0.115395m$$

$$AB = 0.089209m = 89.209$$

⇒ Por lo tanto longitud de arco ΔS es :

$$\Delta S = 0.84 * AB$$

$$\Delta S = 0.84 * 0.089209m$$

$$\Delta S = 0.074936m = 74.936mm$$

I. Numero de cucharas.

$$N_{cu} = \max \frac{\pi * D_{exter}}{\Delta S} \dots \dots \dots 12 + 0.74 * \frac{D_p}{d_{chorro}} \dots \dots (76)$$

$$N_{cu} = \max \frac{\pi * 0.546412m}{0.074936m} \dots \dots \dots 12 + 0.74 * \frac{0.470698m}{0.037857m}$$

$$N_{cu} = \max 23 \dots \dots 22$$

⇒ Por lo tanto:

$$N_{cu} = 23$$

⇒ Recalculando S:

$$N_{cu} = \frac{\pi * D_{exter}}{\Delta S} \dots \dots (77)$$

$$\Delta S = \frac{\pi * D_{exter}}{N_{cu}}$$

$$\Delta S = \frac{\pi * 0.546412m}{23}$$

$$\Delta S = 0.074635m = 74.635mm$$

J. Análisis de velocidades

$$V_{inicial} = \sqrt{2 * g * H_{neta}} \dots \dots (78)$$

$$V_{inicial} = \sqrt{2 * 9.81m/s^2 * 112.81}$$

$$V_{inicial} = 47.046m/s$$

➤ **Velocidad del chorro a la salida de tobera.**

$$V_{\text{chorr}_{\text{salida}}} = K_c \sqrt{2gH_{\text{neta}}}$$

Dato.

K_c = coeficiente de tobera, se estima de 0.95 a 0.98

voy a tomar el promedio entre los dos valores $K_c = 0.965$

$$V_{\text{chorr}_{\text{salida}}} = 0.965 \sqrt{2 * \frac{9.81\text{m}}{\text{s}^2} * 112.81\text{m}}$$

$$V_{\text{chorr}_{\text{salida}}} = C_1 = 45.40\text{m/s}$$

➤ **Velocidad tangencial.**

$$U = \frac{\pi D_p N}{60} \dots \dots (79)$$

$$U_1 = K_u * C_1 * \cos \alpha_1 \dots (80)$$

$$U_1 = U$$

Dato.

K_u = coeficiente de velocidad tangencial su valor varia entre 0.44 y 0.48 tomaremos 0.48 para que sea igual las dos velocidades tangenciales

C_1 = Velocidad absoluta en la entrada de la cuchara y es igual a la velocidad del chorro a la salida de la tobera C_i .

α_1 = Angulo formado por las componentes de velocidad absoluta C_1 y la velocidad tangencial U_1 , para las turbinas pelton este angulo es igual a "0°"

$$U = \frac{\pi D_p N}{60}$$

$$U = \frac{\pi * 0.470698m * 900}{60}$$

$$U = 22m/s$$

$$U_1 = K_u * C_1 * \cos \alpha_1 \dots \dots (81)$$

$$U_1 = 0.48 * 45.40m/s * \cos 0^\circ$$

$$U_1 = 22m/s$$

➤ **Velocidad relativa.**

$$W_1 = C_1 * 1 - K_u \dots \dots (81)$$

$$W_1 = 45.40m/s * 1 - 0.48$$

$$W_1 = 23.608 \text{ m/s}$$

Por continuidad y considerando que el chorro de agua pierde velocidad por efecto de la fricción con la superficie de la cuchara, la velocidad relativa W_2 es expresada por:

$$W_2 = K_f * C_1 \sqrt{1 - K_u}$$

Dato.

K_f = Representa el coeficiente de velocidad relativa o se denomina coeficiente de cuchara (depende del espesor de la capa de agua, terminación de cuchara, tipo de material), su valor varía entre 0.88 y 0.92 tomaremos el promedio.

$$W_2 = K_f * C_1 \sqrt{1 - K_u}$$

$$W_2 = 0.9 * 45.40 \text{ m/s} \sqrt{1 - 0.48}$$

$$W_2 = 21.247 \text{ m/s}$$

➤ **Velocidad absoluta a la salida de la cuchara.**

$$C_2 = C_1 * \sqrt{K_u^2 + K_f^2 (1 - K_u)^2 - 2 * K_u * K_f (1 - K_u) * \cos \beta_2} \dots (82)$$

Dato.

β_2 = El ángulo tiene un valor comprendido entre 8° y 12°
 para aplicaciones en series estandarizadas se
 considera un ángulo igual a 10°

$$C_2 = 45.40 \text{ m/s} * \frac{0.48^2 + 0.9^2 (1 - 0.48^2) - 2 * 0.48 * 0.9 (1 - 0.48) * \cos 10^\circ}{C_2 = 3.790 \text{ m/s}}$$

K. Altura de Euler:

$$H_e = \frac{1}{g} * (1 + K_f \cos \beta_2) (C_1 - U_1) U_1 \dots \dots (83)$$

$$H_e = \frac{1}{9.81 \text{ m/s}^2} * (1 + 0.9 \cos 10^\circ) (45.40 \text{ m/s} - 22 \text{ m/s}) (22 \text{ m/s})$$

$$H_e = 98.989 \text{ m}$$

L. Rendimiento Hidráulico de turbina.

$$\eta_H = \frac{H_e}{H_{neta}} \dots \dots (84)$$

$$\eta_H = \frac{98.989 \text{ m}}{112.81 \text{ m}}$$

$$\eta_H = 0.8774$$

M. Rendimiento total real de turbina.

$$\eta_{\text{totalReal}} = \eta_H * \eta_V * \eta_{\text{mec}}$$

$$\eta_{\text{totalReal}} = 0.8774 * 1 * 0.96$$

$$\eta_{\text{totalReal}} = 0.842 = 84.2\%$$

Dato.

η_V = rendimiento volumetrico se va a considerar 100%

η_{mec} = Rendimiento mecanico

N. Potencia real en el eje de turbina.

$$P_{\text{eje turbina real}} = \eta_{\text{total real}} * P_{\text{ent turb}} \dots \dots (85)$$

$$P_{\text{eje turbina real}} = 0.842 * 56380.986 \text{ w}$$

$$P_{\text{eje turbina real}} = 47472.79 \text{ w} = 63.636 \text{ HP} = 64.273 \text{ CV}$$

3.4. Dimensiones de la turbina pelton.

➤ **Número específico real para el inyector.**

⇒ Z = Numero de chorros:

$$Z = 1$$

$$N_{sreal} = N \frac{\frac{P_{eje_{turbina_{real}}}}{Z}^{1/2}}{H_{neta}^{5/4}} \dots \dots \dots (86)$$

$$N_{sreal} = 900rpm \frac{\frac{64.273CV}{1}^{1/2}}{112.81m^{5/4}}$$

$N_{sreal} = 19.63$ sigue siendo acorde al ideal

➤ **Calculo del diámetro punta: (D_{punta}).**

$$D_{punta} = D_p + 2 \frac{7}{6} D_{CHORRO} \dots \dots \dots (87)$$

$$D_{punta} = 0.470698m + 2 \frac{7}{6} 0.037857m$$

$$D_{punta} = 0.559031m = 559.031mm$$

➤ **Calculo del Exterior : (D_E).**

$$D_E = D_{punta} + D_{CHORRO} \dots \dots \dots (88)$$

$$D_E = 0.559031m + 0.037857m$$

$$D_E = 0.596888m = 596.888mm$$

3.5. Aguja.

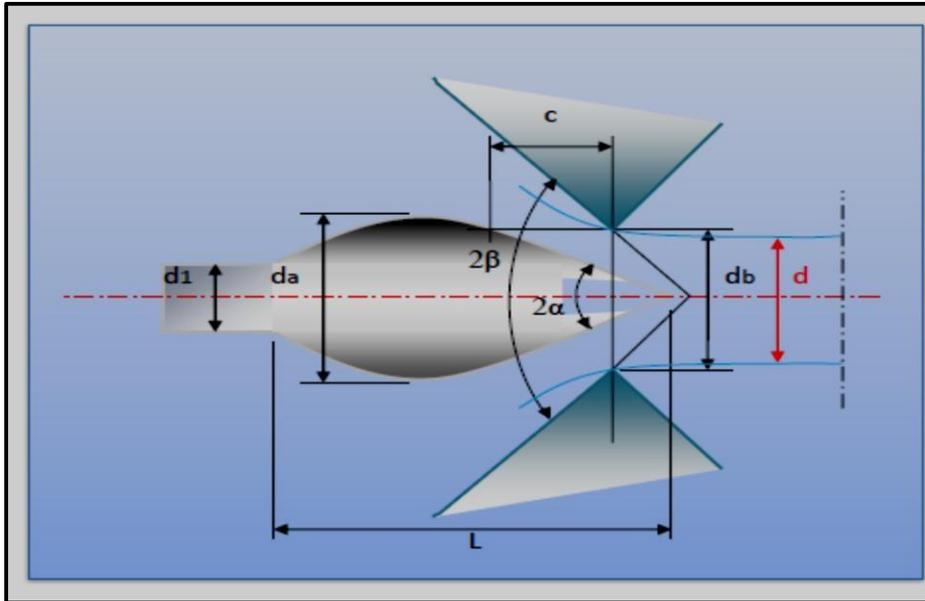


Fig. N°20: Dimensiones en boca de tobera según W. JARA. Maquinas hidráulicas. Pg.94.1998.

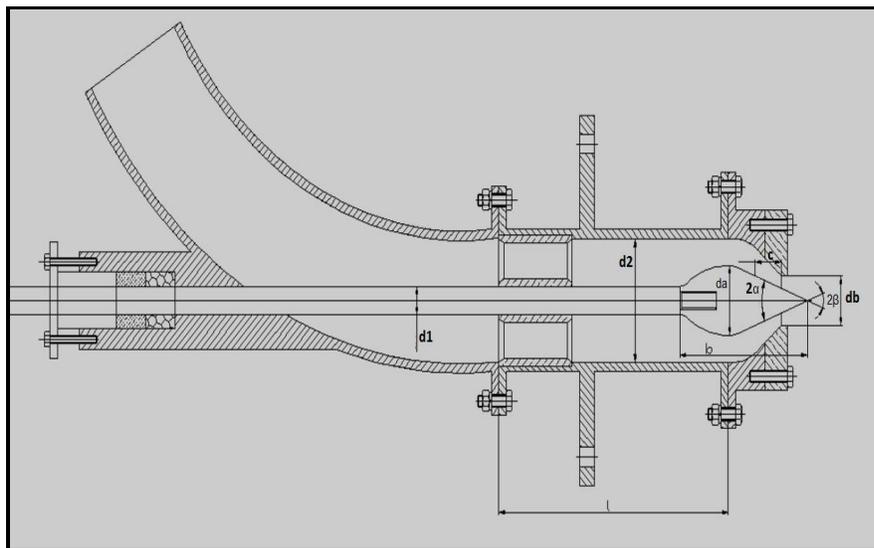


Fig. N°21: Dimensión de toda la tobera según W. JARA. Maquinas hidráulicas. Pg.94.1998.

PROPORCIONES DE LA TOBERA EN FUNCIÓN DE: d_{chorro}			
d_a	$1.42d_{chorro}$	0.05353	M
2α	40-60	45	Grados
2β	60-90	70	Grados
db	$1.1d_{chorro}$	0.04147	M
c	$0.5d_{chorro}$	0.01885	M
$d1$	$0.58d_{chorro}$	0.02186	M
b	$3.25d_{chorro}$	0.12252	M
l	$6d_{chorro}$	0.22618	M
$d2$	$2.5d_{chorro}$	0.09424	M

Tabla N°8: Proporciones de medida con respecto al chorro de tobera. W. JARA. Maquinas hidráulicas. Pg.95.1998

3.6. Dimensiones de cuchara.

⇒ Calculos internos en la cuchara:

DIMENSIONES DE LA CUCHARA EN FUNCIÓN DEL D_{CHORRO}			
Γ	96-105	100.5	grados
B	$3 * D_{CHORRO}$	0.113091	M
L	$2.55 * D_{CHORRO}$	0.096128	M
T	$0.75 * D_{CHORRO}$	0.028273	M
S	$1.15 * D_{CHORRO}$	0.043352	M
A	10-15	12.5	grados
B	$3.5 * D_{CHORRO}$	0.13194	M

b ₁	0.4744 * D _{CHORRO}	0.017883	M
F	0.9 * D _{CHORRO}	0.033927	M
β ₁	10 – 20	15	grados
β ₂	20 – 30	25	grados
β ₃	5 – 10	7.5	grados
β ₄	30 – 40	35	grados

Tabla N°9: Proporciones de medida con respecto al chorro de cuchara. W. JARA. Maquinas hidráulicas. Pg.99.1998

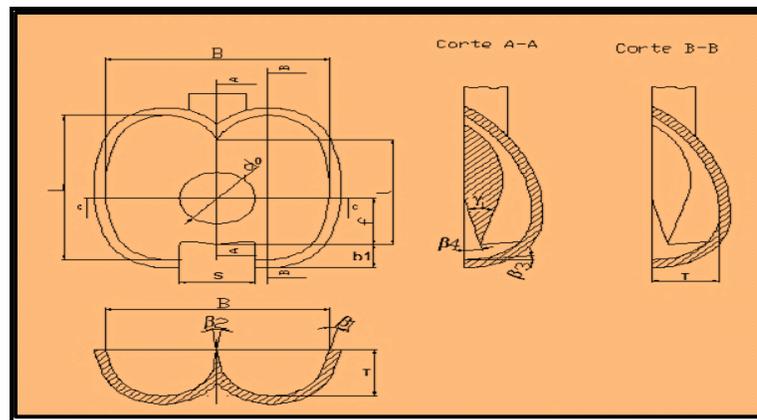


Fig. N°22: Dimensiones de una cuchara. W. JARA. Maquinas hidráulicas. Pg.91.1998

⇒ **Fuerza de chorro.**

$$F_{ch} = w_1 \cdot 1 + K_f \cos \beta_2 \cdot \rho \cdot Q \dots \dots \dots (89)$$

$$F_{ch} = 23.608 \cdot 1 + 0.9 \cos 10^\circ \cdot 997 \text{kg/m}^3 \cdot 0.0511 \text{m}^3/\text{s}$$

$$F_{ch} = 2268.779 \text{N}$$

4. Cálculo técnico de transformación hidro-mecánico.

4.1. Selección de transmisión.

a) Potencia de diseño

$$P_{\text{diseño}} = F.S \cdot P_{\text{eje}_{\text{turbina}_{\text{real}}}} \dots \dots \dots (90)$$

Dato:

$F.S$ = Factor de servicio, por ser generador le damos 1.5 según tabla.

$P_{\text{diseño}}$ = Potencia de transmisión para el diseño (Kw)

$P_{\text{eje}_{\text{turbina}_{\text{real}}}}$ = Potencia de eje turbina (Kw)

APLICACIÓN	FACTOR SERVICIO					
	3h/24h		10h/24h		24h/24h	
	Pa	Pm	Pa	Pm	Pa	PM

SOPLANTES						
Rotativos	1.15	1	1.25	1.15	1.5	1.15
De engranaje, de paletas.	1.15	1	1.25	1.15	1.5	1.25
COMPRESORES						
Centrífugos						
Rotativos	1.15	1	1.5	1.25	1.5	1.25
	1.15	1	1.5	1.25	1.75	1.25
TRITURADORES						
Piedra , mineral residuos						
TRANSFORMACIÓN DE ENERGÍA.		1.75		2		2.25
Convertidores de frecuencia.		1.5		1.5		1.75
Generador						
		1.5		1.5		1.75

Tabla N°10: Factor de servicio de diversas maquinas según W. JARA. Manual de micro central hidroelectrica. Pg.94.1995.

$$P_{\text{diseño}} = 1.5 * 47.47\text{KW}$$

$$P_{\text{diseño}} = 71.205\text{Kw} = 95.449\text{HP} = 96.404\text{CV}$$

b) Tipos de transmisión.

La solución más viable es aumentar las RPM de entrada del generador a una velocidad con la cual se pueda trabajar sin afectar el rendimiento del generador y la potencia transmitida.

➤ Reducir las RPM mediante un sistema de poleas y bandas.

Puede ser una buena opción pero se desecha , ya que al emplear bandas podemos reducir en gran medida las Rpm ,

pero afectamos la potencia que el generador recibe .

Además de que requiere de mantenimiento constante, hay que reemplazar las bandas en un lapso de tiempo muy corto comparado con los demás métodos y es muy espacioso como también riesgoso. Las poleas para este caso son muy grandes y pesadas.

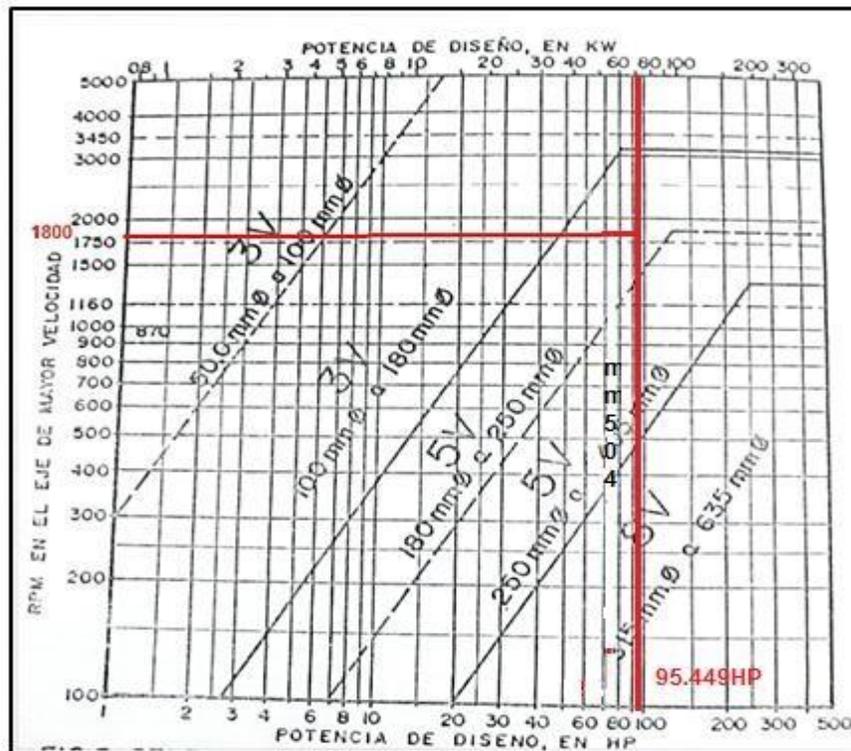


Tabla N°11: Selección del tipo de faja según F. ALVA. Elementos de máquinas. Pg.60.1998.

SECCIÓN	ANCHO MM	ESPESOR MM	DIÁMETRO EXTERIOR DE POLEA, MM		DIFERENCIA ENTRE LOS DIÁMETROS EXTERIOR Y DE PASO, MM
			MÍNIMO	RECOMENDADO	

3V	9.5	7.9	66	67-175	1.27
5V	15.9	13.5	178	180-406	2.54
8V	25.4	23.0	318	318-569	5.08

Tabla N°12: Selección de faja faja según F. ALVA. Elementos de máquinas.
Pg.62.1998.

Diámetro exterior mínimo recomendado de poleas para fajas en V a utilizar en motores eléctricos.

HP Motor	RPM del Motor					
	575	695	870	1160	1750	3450
0.5	2.5	2.5	2.2			
0.75	3.0	2.5	2.4	2.2		
1	3.0	2.5	2.4	2.4	2.2	
1.5	3.0	3.0	2.4	2.4	2.4	2.2
2	3.6	3.0	3.0	2.4	2.4	2.4
3	4.5	3.6	3.0	3.0	2.4	2.4
5	4.5	4.5	3.8	3.0	3.0	2.4
7.5	5.3	4.5	4.4	3.8	3.0	3.0
10	6.0	5.3	4.4	4.4	3.8	3.0
15	6.9	6.0	5.2	4.4	4.4	3.8
20	8.0	6.9	6.0	5.2	4.4	4.4
25	9.0	8.0	6.8	6.0	4.4	4.4
30	10.0	9.0	6.8	6.8	5.2	
40	10.0	10.0	8.2	6.8	6.0	
50	11.0	10.0	8.4	8.2	6.8	
60	12.0	11.0	10.4	8.0	7.4	
					8.6	

75	14.0	13.0	10.0	10.0	8.6
100	18.0	15.0	12.0	10.0	
125	20.0	18.0		12.0	10.5
150	22.0	20.0			10.5
200	22.0	22.0			13.2

Tabla N°13: Polea máxima del motor eléctrico faja según F. ALVA. Elementos de máquinas. Pg.60.1998.

Como podemos observar el diámetro de esta polea es la pequeña y la grande es el doble

- **Reducir las RPM mediante una transmisión (caja de velocidades).**

Es una buena opción pero el costo de adaptar una caja de velocidades de un motor a un mecanismo es muy caro. También podría diseñar una caja especial para este caso, lo cual también es demasiado costoso. Por lo que esta opción también se desecha.

- **Reducir las RPM mediante un sistema de catalinas y cadenas.**

Es también una buena opción pero tiene la desventaja de que es muy espaciosos y hay que darle mantenimiento constante a

las cadenas lo cual al paso del tiempo se convierte en un gasto mayor

- **Reducir las RPM mediante la combinación de dos o más métodos antes mencionados.**

Esta es la opción menos viable ya que el costo de ingeniería y mano de obra para poder adaptar algunos de estos métodos anteriores a un mecanismo sería demasiado elevado, además de que el mantenimiento sería constante lo cual implica un gasto extra.

- **Reducir las RPM mediante un reductor de velocidad.**

Mediante el reductor de velocidad se podrá resolver este problema, empleamos un reductor simple de velocidad, el cual sirva de unión entre el generador y el mecanismo. Y al realizar un análisis de los costos es el que tiene un costo menor para este problema, además de que no se pierden las características de entrada del generador, al contrario se pueden mejorar.

4.2. Selección del reductor de velocidad.

A. Relación de transmisión.

$$i = \frac{N_1}{N_2}$$

Dato.

$N_1 = \text{RPM del generador}$

$N_2 = \text{RPM de la turbina}$

$$i = \frac{1800}{900}$$

$$i = 2$$

B. Selección del reductor de velocidad de la tabla GUOMAO REDUCER y serie ZDY.

$$P_{\text{diseño}} = 71.205\text{Kw} = 95.449\text{HP} = 96.404\text{CV}$$

Seleccionamos el que se aproxima más, 80KW

ratioi	NOMINAL(RPM)		ZDY						
	Entrada n1	Salida n2	80	100	125	160	200	250	280
			Potencia entrada P1(KW)						
1.25	1800	1440	57	103	205	360	633	1121	---
	1200	960	40	69	140	260	446	807	---
	900	720	31	52	105	190	348	636	---
1.4	1800	1286	53	96	194	326	616	1109	---
	1200	857	37	65	132	240	433	794	---
	900	643	29	48	102	180	337	624	---
1.6	1800	1125	49	92	180	310	587	1068	1453
	1200	750	34	63	125	217	410	760	1051
	900	563	27	50	98	168	319	595	824
1.8	1800	1000	45	87	173	290	557	1024	1411
	1200	667	31	62	120	206	389	726	1002
	900	500	24	48	95	160	302	567	784
	1800	900	39	80	158	278	526	970	1339

2	1200	600	27	55	110	194	367	684	
	900	450	21	43	85	150	284	534	
2.24	1800	804	36	70	141	264	484	914	1236
	1200	536	25	49	98	183	337	645	874
	900	402	19	38	76	142	262	503	682
2.5	1800	720	32	64	127	245	447	855	1154
	1200	480	22	45	88	170	311	601	812
	900	360	17	35	68	132	241	468	633

Tabla N°14: Potencia reductor de velocidad según GENERAPACK.

ZDY	80	100	125	160	200	250	280	
A	235	290	355	445	545	680	755	
B	150	175	195	245	310	370	450	
H≈	210	260	330	403	507	662	722	
A	80	100	125	160	200	250	280	
i=1.25 -2.8	d1	28	42	48	65	80	100	110
	l1	42	82	82	105	130	165	165
	L1	112	167	182	225	275	340	385
	b1	8	12	14	18	22	28	28
	t1	31	45	51	69	85	106	116
i=3.15 -4.5	d1	19	22	28	38	48	60	65
	l1	28	36	42	58	82	105	105
	L1	98	121	142	178	227	280	325
	b1	6	6	8	10	14	18	18
	t1	22	25	31	41	52	64	69

Tabla N°15: Dimensiones del reductor de velocidad según GENERAPACK

ZDY	80	100	125	160	200	250	280
d2	32	48	55	70	90	110	130
l2	58	82	82	105	130	165	200

L2	128	167	182	225	275	340	420	
b2	10	14	16	20	25	28	32	
t2	35	51.5	59	74.5	95	116	137	
C	18	22	25	32	40	50	50	
m1	180	225	290	355	425	550	620	
m2	---	---	---	---	---	275	310	
m3	120	140	160	200	255	305	380	
n1	40	52.5	65	73	80	110	120	
n2	60	72.5	100	122	145	190	220	
e1	67.5	85	97.5	118	140	175	187.5	
e2	81	102	119	141	169	214	228	
e3	101	122	155	190	235	295	328	
H	100	125	160	200	250	315	355	
Bolt Hole	d3	12	15	15	18.5	24	28	28
	n	4	4	4	4	4	6	6
Weigh	14	35	76	115	228	400	540	
Oill	0.9	1.6	3.2	6.5	12.5	23	36	

Tabla N°16: Segunda parte de las mediciones del reductor de velocidad.

C. Calculamos la potencia de salida del reductor de velocidad

$$P_{\text{salida}} = P_{\text{entrada}} * \eta_{\text{transmision}} \dots \dots \dots (91)$$

$$P_{\text{salida}} = 80\text{KW} * 0.96$$

$$P_{\text{salida}} = 76.8\text{KW}$$

D. Calculamos el torque de salida del reductor de velocidad.

$$T_{\text{salida}} = \frac{P_{\text{salida}} * 9550}{n_{\text{salida}}} \dots\dots\dots (92)$$

$$T_{\text{salida}} = \frac{76.8\text{KW} * 9550}{900\text{RPM}}$$

$$T_{\text{salida}} = 814.93\text{N} * \text{m}$$

5. Análisis mecánico del sistema

5.1. Diagrama de cuerpo libre de turbina.

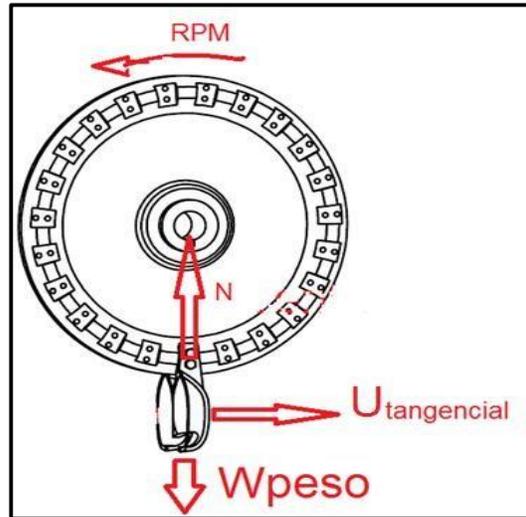


Fig. N°23: Diagrama de cuerpo Libre turbina.

$$F_{\text{centrifuga}} = \frac{m * U_{\text{tangencial}}^2}{\frac{D_{\text{inter}}}{2}} \dots \dots (93)$$

Dónde:

Dato:

m = Masa de cuchara (Kg)

$U_{\text{tangencial}}$ = Velocidad tangencial en turbina (m/s)

R_{inter} = Radio interior de turbina

N = (m)

W_{peso} = Fuerza Normal de cuchara(N)

Peso dela cuchara (Kg)

$$F_{\text{centrifuga}} = \frac{0.801 * 22^2}{\frac{0.394984}{2}}$$

$$F_{\text{centrifuga}} = 1963.037\text{N}$$

⇒ aplicando sumatoria de fuerzas.

$$F = m * a_c \dots \dots \dots (94)$$

$$F_{\text{centrifuga}} = m * a_c$$

$$N - W_{\text{peso}} = F_{\text{centrifuga}}$$

$$N - m * g = F_{\text{centrifuga}}$$

$$N - 0.801\text{Kg} * \frac{9.81\text{m}}{\text{s}^2} = 1963.037\text{N}$$

$$N = 1970.894\text{N}$$

$$W_{\text{peso}} = -F_{\text{centrifuga}} + N$$

$$W_{\text{peso}} = -1963.037\text{N} + 1970.894\text{N}$$

$$W_{\text{peso}} = 7.857\text{N}$$

5.2. Máximo esfuerzo de cuchara y vástago de cuchara.

⇒ El elemento mostrado de cuchara es un Acero Inoxidable recocido AISI 347, normalizado con $S_u = 655\text{Mpa}$, $S_y = 275\text{Mpa}$, $\mu(\text{coeficiente de poisson}) = 0.27$

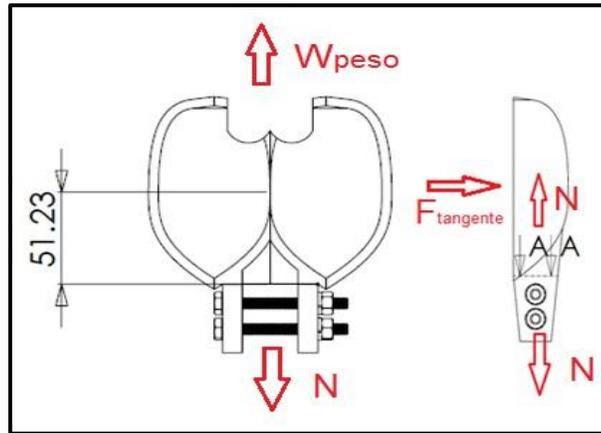


Fig. N°24: Cuchara y vástago de cuchara

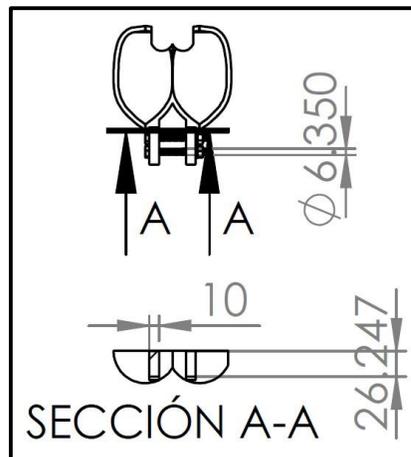


Fig. N°25: Sección A-A de cuchara y vástago de cuchara.

$$\sigma_{\text{axial A-A}} = \frac{\frac{N}{2}}{A_{\text{A-A}}} = \frac{\frac{N}{2}}{b * h} \dots \dots \dots (94)$$

Dato:

A_{A-A} = Area de seccion A – A (m²)

b = Base de seccion A – A(m)

h = Altura de seccion A – A(m)

$$\sigma_{\text{axial A-A}} = \frac{\frac{N}{2}}{A_{A-A}} = \frac{\frac{N}{2}}{b * h}$$

$$\sigma_{\text{axial A-A}} = \frac{\frac{1970.894N}{2}}{0.01m * 0.026247m}$$

$$\sigma_{\text{axial A-A}} = 3.756\text{MPa}$$

Esfuerzo de flexión por la fuerza del chorro.

$$\sigma_f = \frac{M_f}{W} \dots (95) \quad W = \frac{I}{c} \quad I = \frac{b * h^3}{12} \quad M_f = F_{\text{chorro}} * d$$

Dato:

M_f = Momento flector debido a la fuerza del chorro (Nm). Modulo

W = de resistencia (m³)

I = Momento de inercia de la sección transversal del vástago
(m⁴).

c =

d = Fribra más alejada del eje neutro (m)

Distancia entre fuerza de chorro y la sección afectada (A-A).

$$I = \frac{0.01 * 0.026247^3}{12}$$

$$\Rightarrow I = 1.506807481 * 10^{-8} m^4$$

$$W = \frac{1.506807481 * 10^{-8} m^4}{\frac{0.01m}{2}}$$

$$\Rightarrow W = 3.013614962 * 10^{-6} m^3$$

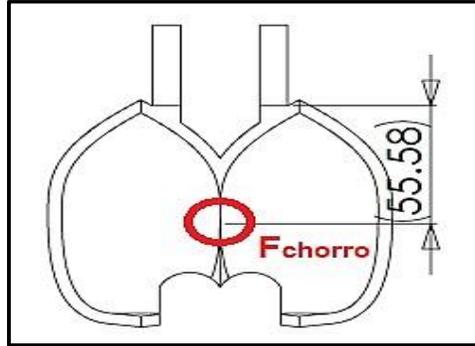


Fig. N°26: La fuerza máxima del chorro

$$M_f = 2268.779N * 0.05558m$$

$$\Rightarrow M_f = 126.099Nm$$

$$\sigma_f = \frac{126.099Nm}{3.013614962 * 10^{-6} m^3}$$

$$\Rightarrow \sigma_f = 41.843MPa$$

5.3. Máximo esfuerzo de contacto.

A. vástago de cuchara y pernos.

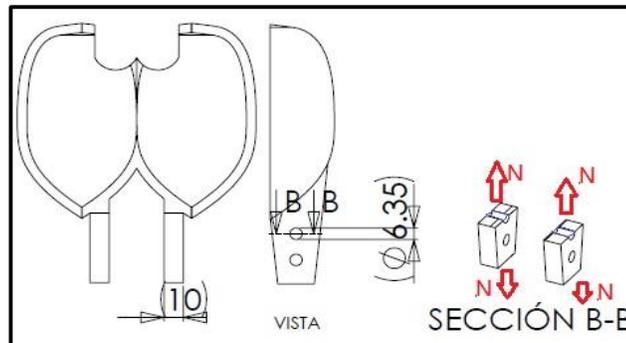


Fig. N°27: Sección B-B en el agujero del perno

$$\sigma_b = \frac{\frac{N}{2}}{2A_{B-B}} = \frac{\frac{N}{2}}{2 * b' * h'} \dots \dots \dots (96)$$

Dato:

A_{B-B} = Area de seccion B – B (m²)

b' = Base de seccion B – B(m)

h' = Altura de seccion B – B(m)

$$\sigma_b = \frac{\frac{N}{2}}{2 * b' * h'}$$

$$\sigma_b = \frac{\frac{1970.894N}{2}}{2 * 0.01m * 0.00635m}$$

$$\sigma_b = 7.759Mpa$$

B. Rodete y pernos.

El rodete se encuentra hecho de Bronce comercial UNS C22000 (90- 10 bronce), normalizado con $S_u = 255Mpa$ $S_y = 69Mpa$ μ coeficiente de poisson = 0.27

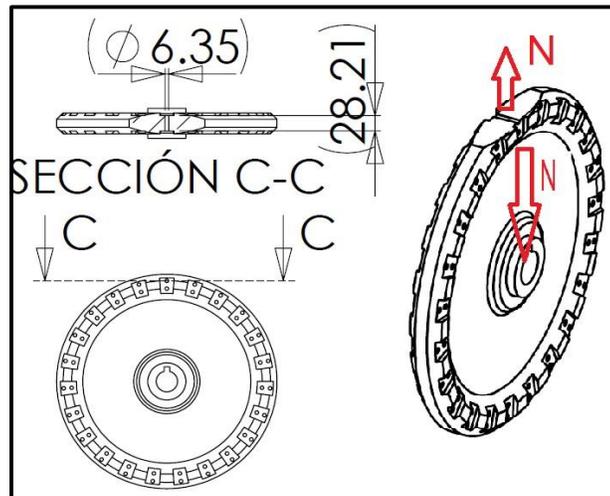


Fig. N°28: Sección C-C del agujero de rodete.

$$\sigma_{b''} = \frac{N}{3A_{C-C}} = \frac{N}{2 * b'' * h''} \dots \dots \dots (97)$$

Dato:

A_{C-C} = Area de seccion C – C (m2)

b'' = Base de seccion C – C(m)

h'' = Altura de seccion C – C(m)

$$\sigma_{b''} = \frac{N}{2 * b'' * h''}$$

$$\sigma_{b''} = \frac{1970.894N}{2 * 0.02821m * 0.00635m}$$

$$\sigma_{b''} = 5.501MPa$$

5.4. Máximo esfuerzo de corte en perno.

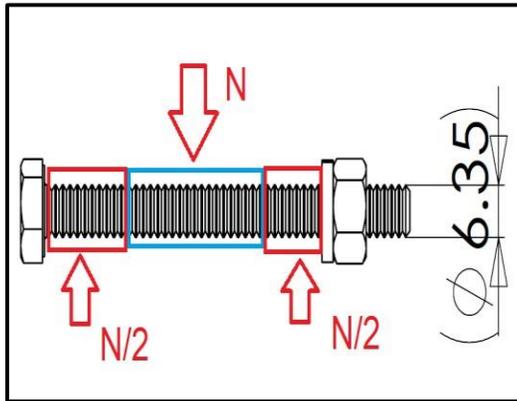


Fig. N°29: Diagrama de cuerpo libre de corte en perno.

$$\tau = \frac{N}{2A} = \frac{N}{2 * \frac{\pi * d^2}{4}} \dots \dots \dots (98)$$

Dato:

d = Diámetro del perno (m)

A = Area del perno (m²)

$$\tau = \frac{N}{2 * \frac{\pi * d^2}{4}}$$

$$\tau = \frac{1970.894}{2 * \frac{\pi * 0.00635^2}{4}}$$

$$\tau = 31.117MPa$$

Criterio de máximo esfuerzo cortante en pernos de acero AISI 347 inoxidable recosido, lo diseñaremos en forma estática.

$$\text{Fallara si: } \tau_{max} \geq S_{sy} \quad \tau_{max} = 31.117MPa$$

$$\text{Siendo: } S_{sy} = 0.5S_y \quad S_y = 275MPa$$

$$S_{sy} = 0.5S_y \Rightarrow S_{sy} = 0.5 * 275MPa = 137.5MPa$$

$$\tau_{max} < 137.5MPa \quad \text{¡No falla el elemento!}$$

Factor de seguridad

$$F.s = \frac{S_{sy}}{\tau_{max}} = \frac{137.5MPa}{31.117MPa} = 4.42$$

5.5. Criterio de falla por fatiga – criterio de von mises máxima energía de distorsión en el punto más crítico de la turbina.

Esfuerzos máximos presentes de menor área en la cuchara.

$$\sigma_s = 7.759\text{MPa}$$

Esfuerzo estático

$$\sigma_R = 41.843\text{MPa}$$

Intervalo de esfuerzos

$$\sigma_{\max} = \sigma_R + \sigma_s = 49.602\text{MPa}$$

Esfuerzo Máximo

$$\sigma_{\min} = \sigma_s = 7.759\text{MPa}$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} = 20.922\text{MPa}$$

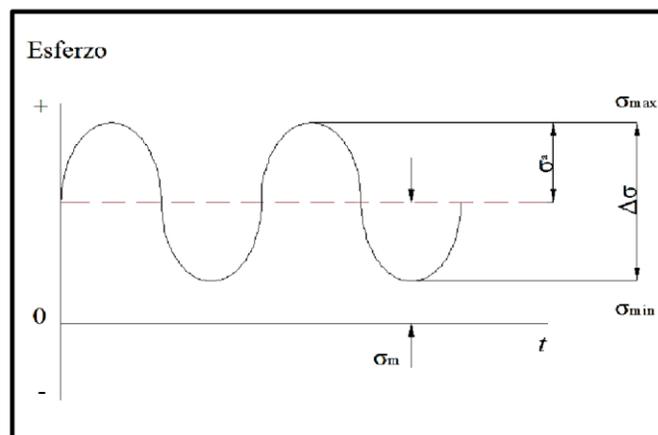
Amplitud de esfuerzos

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} = 28.681\text{MPa}$$

Esfuerzo Medio

$$\Delta\sigma = \sigma_{\max} - \sigma_{\min} = 41.843\text{MPa}$$

Rango de esfuerzos



Esfuerzo mínimo

Fig. N°30: Frecuencia de esfuerzos faja según F. ALVA.
Elementos de máquinas. Pg.70.1998.

Calculamos las relaciones para determinar si los esfuerzos que actúan en el rodete son totalmente alternantes, repetidos o fluctuantes.

$$R = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} = \frac{7.759\text{MPa}}{49.602\text{MPa}} = 0.16$$

$$A = \frac{\sigma_a}{\sigma_m} = \frac{20.922\text{MPa}}{28.681\text{MPa}} = 0.73$$

Al ser R y A positivos, y $0 \leq R \leq 1$. Estos patrones de carga resultan de esfuerzos a flexión, axial y torsión. Entonces el rodete está sometido a esfuerzos fluctuantes.

Límite correcto de fatiga (S_e).

$$S_e = K_a * K_b * K_c * K_d * K_e * S'_e \dots \dots \dots (99)$$

Para acero AISI 347 inoxidable Recocido (ss): $S'_e = 0.5S_\mu$ $S_\mu = 655\text{MPa}$ $S_y = 275\text{MPa}$

$$S'_e = 0.5 * 655\text{MPa}$$

$$S'_e = 327.5\text{MPa}$$

➤ **Factores Modificativos del límite de fatiga S'_e .**

A. Acabado superficial K_a :

$$K_a = a * S_{\mu}^b \dots \dots \dots (100)$$

Acabado superficial	Coefficiente a (MPa)	Exponente b
Pulido	1	0
Acabado fino (esmerilado, rectificado,)	1.58	-0.085
Mecanizado sin acabar/estirado en frío	4.51	-0.265
Laminado en caliente	57.7	-0.718
Forjado	272	-0.995

Tabla N°17: Acabado superficial del material faja según F. ALVA. Elementos de máquinas. Pg.72.1998

$$K_a = 1.58 \text{MPa} * 655 \text{MPa}^{-0.085}$$

$$K_a = 0.91$$

B. Factor tamaño K_b :

$$K_b = \frac{d}{7.62}^{-0.1133} \quad 2.79 \leq d(\text{mm}) \leq 51$$

$$d = \text{seccion rectandular} = 0.808 b * h^{0.5}$$

$$d = 0.808 0.01 * 0.026247^{0.5}$$

$$d = 0.0131\text{m} = 13\text{mm}$$

$$K_b = \frac{13.1}{7.62}^{-0.1133}$$

$$K_b = 0.94$$

C. Factor de confiabilidad K_c :

Probabilidad de falla 0.1%

Confiabilidad	Factor de confiabilidad K_c
0.5	1
0.9	0.897
0.95	0.868
0.99	0.814
0.999	0.753
0.9999	0.702
0.99999	0.659
0.999999	0.620
0.9999999	0.584
0.99999999	0.551
0.999999999	0.520

Tabla N°18: confiabilidad de análisis faja según F. ALVA. Elementos de máquinas. Pg.60.1998.

$$K_c = 0.753$$

D. Factor de temperatura K_d :

$K_d = 1$	$T \leq 450^\circ \text{C}$
$K_d = 1 - 5.8 \cdot 10^{-3} \cdot (T - 450)$	$450^\circ \text{C} \leq T \leq 550^\circ \text{C}$

$$K_d = 1$$

E. Factor de efectos varios K_e :

$$K_e = 1$$

➤ **Magnitud del límite de fatiga correcto.**

$$S_e = 0.91 * 0.94 * 0.753 * 1 * 1 * 327.5 \text{MPa}$$

$$S_e = 210.95 \text{MPa}$$

➤ **Factor de seguridad a la fatiga**

$$N_f = \frac{S_e * S_\mu}{\sigma_a * S_\mu + \sigma_m * S_e} \dots \dots \dots (101)$$

$$N_f = \frac{210.95 \text{MPa} * 655 \text{MPa}}{20.922 \text{MPa} * 655 \text{MPa} + 28.681 \text{MPa} * 210.95 \text{MPa}}$$

$$N_f = 7$$

5.6. ANÁLISIS DE CARGAS EN EJE.

5.6.1. Análisis de cargas en turbina.

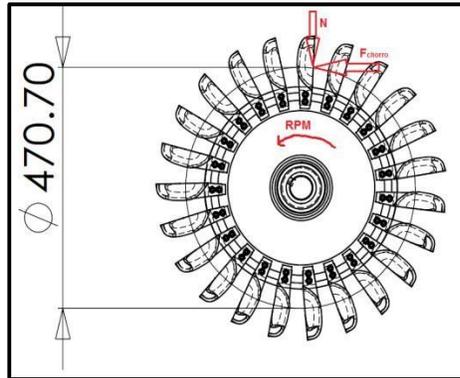


Fig. N°31: Análisis de trabajo en turbina

Trasladando cargas al eje tendremos:

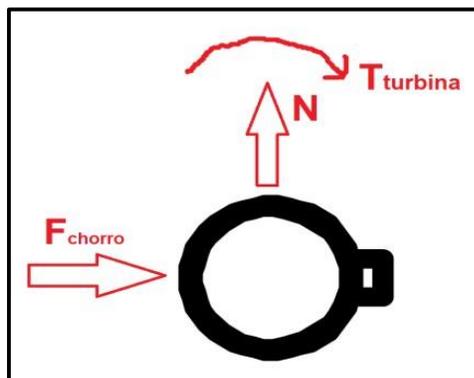


Fig. N°32: Análisis de fuerzas en eje de turbina

Calculo de las magnitudes de las cargas.

❖ **Torque de la turbina**

$$T_{\text{turb}} = F_{\text{ch}} * \frac{D_p}{2} \dots \dots \dots (102)$$

$$T_{\text{turb}} = 2268.779\text{N} * \frac{0.470698\text{m}}{2}$$

$$T_{\text{turb}} = 533.955 \text{ Nm}$$

❖ **Fuerza del chorro.**

$$F_{\text{ch}} = 2268.779\text{N}$$

❖ **Fuerza normal de cuchara**

$$N = 1970.894\text{N}$$

En la fuerza normal se encuentra agregada el peso de cuchara.

❖ **Diagrama de cuerpo libre – Vista espacial.**

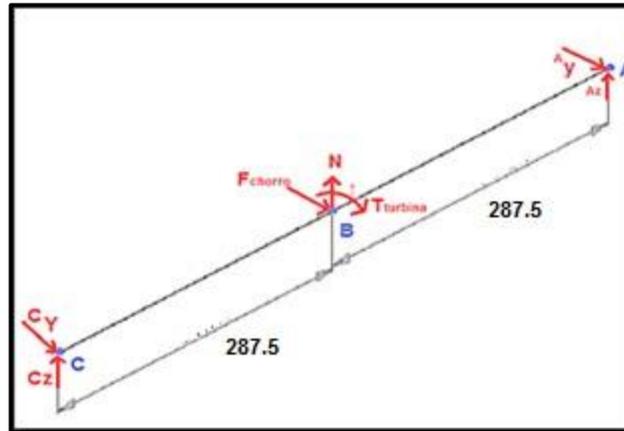


Fig. N°33: Análisis de fuerzas en todo el eje.

5.6.2. Cálculo de las reacciones.

A. Plano vertical.

$$F_V = 0 \dots \dots \dots (103)$$

$$N + A_z + C_z = 0$$

$$1970.894\text{N} + A_z + C_z = 0$$

$$\boxed{A_z + C_z = -1970.894\text{N}} \dots \dots \dots (104)$$

$$M_{AV} = 0 \dots \dots \dots (105)$$

$$-N * 287.5\text{mm} - C_z * 575\text{mm} = 0$$

$$-1970.894\text{N} * 287.5\text{mm} - C_z * 575\text{mm} = 0$$

$$-566632.025\text{Nmm} - C_z * 575\text{mm} = 0$$

$$C_z * 575\text{mm} = -566632.025\text{Nmm}$$

$$C_z = -985.447\text{N}(\text{Sentido contrario})$$

De la ecuación numero 7 entonces es:

$$A_z + C_z = -1970.894\text{N}$$

$$A_z + -985.447\text{N} = -1970.894\text{N}$$

$$A_z = -985.447\text{N}(\text{Sentido contrario})$$

B. Plano Horizontal.

$$F_H = 0$$

$$F_{ch} + A_y + C_y = 0$$

$$2268.779\text{N} + A_y + C_y = 0$$

$$A_y + C_y = -2268.779\text{N} \dots\dots\dots(106)$$

$$M_{AH} = 0$$

$$-F_{ch} * 287.5\text{mm} - C_y * 575\text{mm} = 0$$

$$-2268.779\text{N} * 287.5\text{mm} - C_y * 575\text{mm} = 0$$

$$C_y * 575\text{mm} = -652273.963\text{Nmm}$$

$$C_y = -1134.39\text{N}(\text{Sentido contrario})$$

De la ecuación numero 8 entonces es:

$$A_y + C_y = -2268.779\text{N}$$

$$A_y + -1134.39\text{N} = -2268.779\text{N}$$

$$A_y = -1134.389\text{N} (\text{Sentido contrario})$$

5.6.3. Calculo de momentos.

A. Plano vertical.

$$M_{AV} = 0$$

$$M_{BV} = 985.447\text{N} * 287.5\text{mm} = 283316.013\text{Nmm}$$

$$M_{CV} = 985.447\text{N} * 575\text{mm} - 1970.894\text{N} * 287.5\text{mm} = 0$$

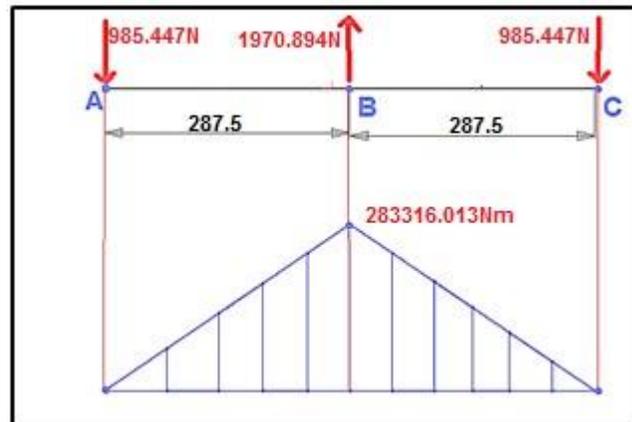


Fig. N°34: Diagrama de momentos flectores en vertical

B. Plano horizontal.

$$M_{AH} = 0$$

$$M_{BH} = 1134.39N * 287.5mm = 326137.125Nmm$$

$$M_{CH} = 1134.39N * 575mm - 2268.779N * 285.5mm = 0$$

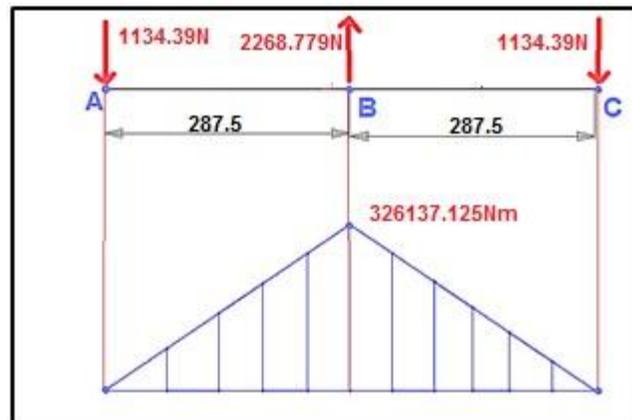


Fig. N°35: Diagrama de momentos flectores en horizontal

5.6.4. Momentos resultantes.

$$M_{AR} = 0$$

$$M_{BR} = \sqrt{283316.013^2 + 326137.125^2} = 432010.865\text{Nmm}$$

$$M_{CR} = 0$$

5.6.5. Momentos Torsores.

$$T_A = 0$$

$$T_B = \frac{P_{\text{ejeturbina}} * 9550000}{n} = \frac{47.47\text{Kw} * 9550000}{900}$$

$$T_B = 503709.444\text{Nmm}$$

$$T_C = 503709.444\text{Nmm}$$

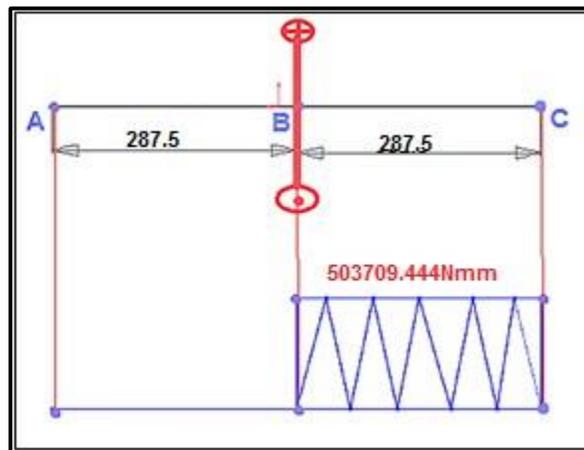


Fig. N°36: Diagrama de esfuerzo torsor.

5.6.6. Criterio de falla por fatiga- criterio de Goodman máxima energía de distorsión segundo método.

Tenemos que calcular los esfuerzos equivalentes:

$$\sigma_m^2 = \sigma_{xm}^2 + \sigma_{ym}^2 - \sigma_{xm} * \sigma_{ym} + 3\tau_{xym}^2 \dots \dots \dots (107)$$

$$\sigma_a^2 = \sigma_{xa}^2 + \sigma_{ya}^2 - \sigma_{xa} * \sigma_{ya} + 3\tau_{xya}^2 \dots \dots \dots (108)$$

Dato:

σ_{xa} = Amplitud de esfuerzo flexión en X con respecto al tiempo (Pa)

σ_{ya} = Amplitud de esfuerzo flexión en Y con respecto al tiempo (Pa)

τ_{xya} = Amplitud de esfuerzo Torsión en XY con respecto al tiempo (Pa)

Calculo por fatiga:

$$\frac{1}{N_f} = \frac{\sigma_m}{S_\mu} + \frac{\sigma_a}{S_e} \dots \dots \dots (109)$$

Calculo por fluencia:

$$N_y = \frac{S_y}{\sigma_m + \sigma_a} \dots \dots \dots (110)$$

A. Tipo de esfuerzo fluctuante.

➤ **Esfuerzo de Flexión.**

Eje X:

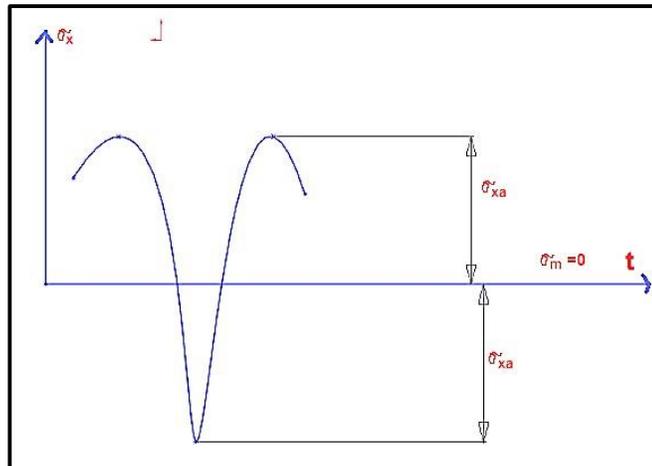


Fig. N°37: Frecuencia de esfuerzo flexión en “X”.

$$\sigma_{xa} = \frac{32M}{\pi d^3} \quad \sigma_{xm} = 0$$

Eje y:

$$\sigma_{ya} = 0 \quad \sigma_{ym} = 0$$

➤ **Esfuerzo de torsión.**

Plano X-y:

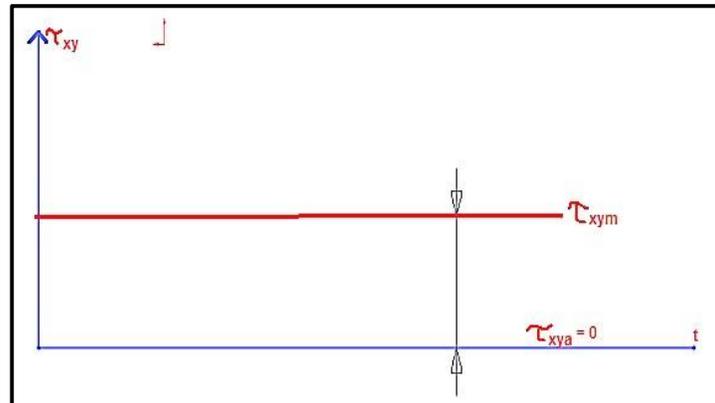


Fig. N°38: Frecuencia de esfuerzo torsión en “X-Y”

$$\tau_{xym} = \frac{16T}{\pi d^3} \qquad \tau_{xya} = 0$$

B. Esfuerzos nominales.

➤ **Sección A.**

$M = 0$	$\sigma_{xa} = 0$	$\sigma_{xm} = 0$
$T = 0$	$\sigma_{ya} = 0$	$\sigma_{ym} = 0$
$d = 0$	$\tau_{xya} = 0$	$\tau_{xym} = 0$

➤ **Sección B.**

$$M = 432010.865\text{Nmm}$$

$$T = 503709.444\text{Nmm}$$

$$d = ??$$

$$\sigma_{xa} = \frac{32 * 432010.865\text{Nmm}}{\pi 48\text{mm}^3} = 39.79\text{MPa}$$

$$\sigma_{xm} = 0 \quad \sigma_{ya} = 0 \quad \sigma_{ym} = 0 \quad \tau_{xya} = 0$$

$$\tau_{xym} = \frac{16 * 503709.444\text{Nmm}}{\pi 48\text{mm}^3} = 23.197\text{MPa}$$

➤ **Sección C.**

$$M = 0$$

$$T = 503709.444\text{Nmm}$$

$$d = ??$$

$$\sigma_{xa} = 0$$

$$\sigma_{xm} = 0 \quad \sigma_{ya} = 0 \quad \sigma_{ym} = 0 \quad \tau_{xya} = 0$$

$$\tau_{xym} = \frac{16 * 503709.444\text{Nmm}}{\pi 48\text{mm}^3} = 23.197\text{MPa}$$

5.6.7. Calculo del Límite correcto de fatiga (S_e).

$$S_e = K_a * K_b * K_c * K_d * K_e * S'_e$$

Para acero AISI 4130 Recocido a 865c°: $S'_e = 0.5S_\mu$ $S_\mu = 560\text{MPa}$ $S_y = 460\text{MPa}$

$$S'_e = 0.5 * 560\text{MPa}$$

$$S'_e = 280\text{MPa}$$

A. Factores Modificativos del límite de fatiga S'_e .

➤ Acabado superficial K_a :

$$K_a = a * S_\mu^b$$

Acabado superficial	Coefficiente a (MPa)	Exponente b
Pulido	1	0
Acabado fino (esmerilado, rectificado,)	1.58	-0.085
Mecanizado sin acabar/estirado en frío	4.51	-0.265
Laminado en caliente	57.7	-0.718
Foijado	272	-0.995

Tabla N°19: Acabado superficial de material faja según F. ALVA. Elementos de máquinas. Pg.49.1998.

$$K_a = 1.58\text{MPa} * 560\text{MPa}^{-0.085}$$

$$K_a = 0.923$$

➤ **Factor tamaño K_b :**

$$K_b = \frac{d}{7.62}^{-0.1133} \quad 2.79 \leq d(\text{mm}) \leq 51$$

$$K_b = \frac{48}{7.62}^{-0.1133}$$

$$K_b = 0.81$$

➤ **Factor de confiabilidad K_c :**

Probabilidad de falla 0.1%

Confiabilidad	Factor de confiabilidad K_c
0.5	1
0.9	0.897
0.95	0.868
0.99	0.814
0.999	0.753
0.9999	0.702
0.99999	0.659
0.999999	0.620
0.9999999	0.584
0.99999999	0.551
0.999999999	0.520

Tabla N°20: Confiabilidad de análisis.

$$K_c = 0.753$$

➤ **Factor de temperatura K_d :**

$K_d = 1$	$T \leq 450^\circ \text{C}$
$K_d = 1 - 5.8 \cdot 10^{-3} \cdot (T - 450)$	$450^\circ \text{C} \leq T \leq 550^\circ \text{C}$

$$K_d = 1$$

➤ **Factor de efectos varios K_e :**

$$K_e = 1$$

B. Magnitud del límite de fatiga correcto.

$$S_e = 0.923 * 0.81 * 0.753 * 1 * 1 * 280 \text{MPa}$$

$$S_e = 157.63031 \text{MPa}$$

5.6.8. Calculo del Factor de seguridad en el punto B.

Previamente calcularemos los esfuerzos equivalentes para el punto crítico.

$$\sigma_m^2 = \sigma_{xm}^2 + \sigma_{ym}^2 - \sigma_{xm} * \sigma_{ym} + 3\tau_{xym}^2$$

$$\sigma_m^2 = 0 + 0 - 0 + 3 * 23.197^2$$

$$\sigma_m = 40.178 \text{MPa}$$

$$\sigma_a^2 = \sigma_{xa}^2 + \sigma_{ya}^2 - \sigma_{xa} * \sigma_{ya} + 3\tau_{xya}^2$$

$$\sigma_a^2 = 39.79\text{MPa}^2 + 0 - 0 + 0$$

$$\sigma_a = 39.79\text{MPa}$$

A. Calculo Por fatiga.

$$\frac{1}{N_f} = \frac{\sigma_m}{S_\mu} + \frac{\sigma_a}{S_e}$$

$$\frac{1}{N_f} = \frac{40.178\text{MPa}}{560\text{MPa}} + \frac{39.79\text{MPa}}{157.63031\text{MPa}}$$

$$\frac{1}{N_f} = 0.3241725$$

$$N_f = 3.09$$

B. Calculo por fluencia.

$$N_y = \frac{S_y}{\sigma_m + \sigma_a}$$

$$S_y = \text{Limite elastico} = 460\text{MPa}$$

$$N_y = \frac{460\text{MPa}}{40.178\text{MPa} + 39.79\text{MPa}}$$

$$N_y = 5.75$$

5.6.9. Cálculo del Factor de seguridad según el criterio de SODERHERG – Máxima energía de distorsión.

$$N = \frac{\sigma'_{xa}{}^2}{S_e} + \frac{\sigma'_{ya}{}^2}{S_e} - \frac{\sigma'_{xa}}{S_e} * \frac{\sigma'_{ya}}{S_e} + 3 \frac{\tau'_{xya}{}^2}{S_e}^{-0.5}$$

Siendo:

$$\sigma'_{xa} = \sigma_{xa} + \frac{S_e}{S_y} * \sigma_{xm}$$

$$\sigma'_{ya} = \sigma_{ya} + \frac{S_e}{S_y} * \sigma_{ym}$$

$$\tau'_{xya} = \tau_{xya} + \frac{S_e}{S_y} * \tau_{xym}$$

Para el punto crítico se tiene:

$$\sigma_{xa} = 39.79 \text{MPa}$$

$$\sigma_{xm} = 0 \quad \sigma_{ya} = 0 \quad \sigma_{ym} = 0 \quad \tau_{xya} = 0$$

$$\tau_{xym} = 23.197 \text{MPa}$$

Características del material.

$$S_y = 460\text{MPa} \quad S_e = 157.63031\text{MPa}$$

Remplazando:

$$\sigma'_{xa} = 39.79\text{MPa} + 0 \quad \Rightarrow \sigma'_{xa} = 39.79\text{MPa}$$

$$\sigma'_{ya} = 0 + 0 \quad \Rightarrow \sigma'_{ya} = 0$$

$$\tau'_{xya} = 0 + \frac{157.63031\text{MPa}}{460\text{MPa}} * 23.197\text{MPa}$$

$$\tau'_{xya} = 7.949\text{MPa}$$

$$N = \frac{39.79}{157.63\text{MPa}}^2 + 0 - 0 + 3 \frac{7.949\text{MPa}}{157.63\text{MPa}}^2^{-0.5}$$

$$N = 3.74$$

5.6.10. Calculo por deflexión.

$$\delta = \frac{F * L^3}{48 * E * I} \quad I = \frac{\pi d^4}{64} \dots\dots\dots(111)$$

Dónde:

F = Fuerza Maxima(N)

L = Longitud del eje (m)

E = Modulo de elasticidad del eje (MPa)

I = Momento de inercia del eje (m4)

d =Diametro del eje

$$I = \frac{\pi 48^4}{64} \Rightarrow I = 260576.2611\text{mm}^4$$

$$F = F_{\text{chorro}} = 2268.779\text{N}$$

$$\delta = \frac{2268.779\text{N} * 575^3}{48 * 2.05 * 10^5\text{N/mm}^2 * 260576.2611\text{mm}^4}$$

$$\delta = 0.17\text{mm}$$

Para elementos rotativos de máquinas, la deflexión no debe pasar de $\frac{L}{2000}$

$$\delta_{\text{admisible}} = \frac{575\text{mm}}{2000} = 0.29\text{mm}$$

Calculo de la velocidad de embalamiento cuando sueltan toda la carga.

$$N_{\text{embalamiento}} = 1.8N_{\text{turbina}}$$

$$N_{\text{embalamiento}} = 1.8 * 900$$

$$N_{\text{embalamiento}} = 1620\text{RPM}$$

Determinación de la velocidad crítica, Se recomienda que la velocidad crítica debe ser superior en 40% de la velocidad de embalamiento o máxima.

$$N_{\text{critica}} = \frac{29.88}{\delta}$$

$$N_{\text{critica}} = \frac{29.88}{0.00017}$$

$N_{\text{critica}} = 2291.69\text{RPM}$ Si es factible.

5.6.11. Diseño de soportes de Rodamientos.

$$C = P * L^1 p \dots\dots 112 \quad P = x_1 * F_r + y_1 * F_a \dots\dots (113)$$

$$L = \frac{60L_h * N}{10^6} \dots\dots 114$$

$$L_h = 5\text{años} * 365\text{días} * 24\text{horas} \dots\dots\dots (115)$$

Dónde:

C = Capacidad de carga dinámica (KN)

P = Carga dinámica equivalente (KN)

L = Duracion en millones de revoluciones

p = Valor numérico empírico que depende del tipo de elemento de rodadura ($e=3$ para bolas $e=3.3$ para rodillos).

F_r = Carga radial en el rodamiento.

F_a = Carga axial en el rodamiento.

x = Factor de carga radial para este rodamiento es 1.

y = Factor de carga axial.

L_h = Duracion del rodamiento en horas.

N = RPM

$$P = x_1 * F_r + y_1 * F_a \dots\dots\dots (116) \Rightarrow F_a = 0$$

$$F_r = \sqrt{1134.39^2 + 985.447N^2}$$

$$\Rightarrow F_r = 1502.647N$$

Tipo de rodamiento	X1	Y1
De contacto radial	1	0
De contacto angular suave	1	1'25
De contacto angular fuerte	1	0'75
De doble fila		

Tabla N°21: Tipo de rodamientos faja según F. ALVA. Elementos de máquinas. Pg.80.1998.

$$P = 1 * 1502.647N + y * 0$$

$$P = 1502.647N = 1.502647KN$$

$$L = \frac{60 \cdot 43800 \text{ horas} * 900 \text{ RPM}}{10^6}$$

$$L = 2365.2 \text{ millones de revoluciones}$$

$$C = P * L^{1.3}$$

$$C = 1.502647KN * 2365.2^{1.3} = 20.021KN = 20021N$$

$$\frac{C}{P} = \frac{20.021\text{KN}}{1.502647\text{KN}} = 13.324$$

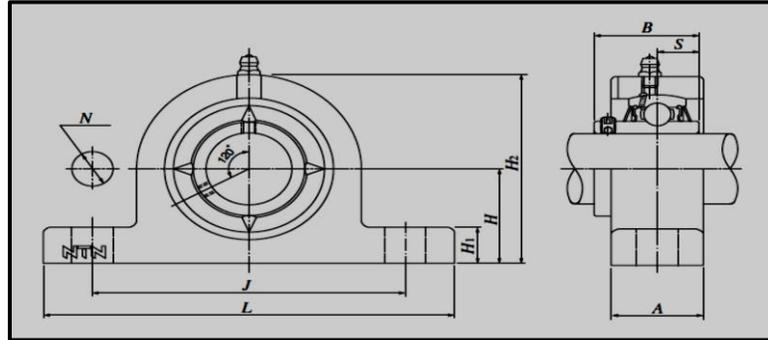


Fig. N°39: Dimensiones de chumacera faja según F. ALVA. Elementos de máquinas. Pg.82.1998.

Bore dia. mm	Part number	Boundary dimensions mm										Nominal bolt dia.	Insert bearing number	Basic dynamic rated load kN Cr	Basic static rated load kN Cor	Housing part number	Mass kg (Net.)
		H	L	J	A	N	H1	H2	B	S							
25	UCPG305D1	45	175	132	35	17	15	85	38	15	M14	UC305D1	21.2	10.9	PG305D1	1.4	
30	UCPG306D1	50	180	140			18	95	43	17		UC306D1	26.7	15.0	PG306D1	1.8	
35	UCPG307D1	56	210	160	40	20	106	48	19	UC307D1		33.5	19.1	PG307D1	2.8		
40	UCPG308D1	60	220	170	45	22	116	52		UC308D1		40.5	24.0	PG308D1	3.0		
45	UCPG309D1	67	245	190	50	24	129	57	22	UC309D1		53.0	32.0	PG309D1	4.1		
50	UCPG310D1	75	275	212	55	19	27	143	61	M16	UC310D1	62.0	38.5	PG310D1	5.8		
55	UCPG311D1	80	310	236	60	30	154	66	25		UC311D1	71.5	45.0	PG311D1	7.4		
60	UCPG312D1	85	330	250	65	24	32	165	71	M20	UC312D1	82.0	52.0	PG312D1	9.4		
65	UCPG313D1	90	340	260			33	176	75		30	UC313D1	92.5	60.0	PG313D1	10	
70	UCPG314D1	95	360	280	75	26	35	187	78	M22	UC314D1	104	68.0	PG314D1	12		
75	UCPG315D1	100	380	290				198	82		32	UC315D1	113	77.0	PG315D1	14	
80	UCPG316D1	106	400	300	80	32	40	210	86	M27	UC316D1	123	86.5	PG316D1	18		
85	UCPG317D1	112	420	320				220	96		40	UC317D1	133	97.0	PG317D1	20	
90	UCPG318D1	118	430	330	90	35	45	235		103		M30	UC318D1	143	107	PG318D1	24
95	UCPG319D1	125	470	360				250	108		42		UC319D1	153	119	PG319D1	29
100	UCPG320D1	140	490	380	100	38	275	112	44	M33	UC320D1	173	141	PG320D1	35		
105	UCPG321D1						280				UC321D1	184	153	PG321D1			
110	UCPG322D1	150	520	400	110	75	55	300	117	M33	UC322D1	205	179	PG322D1	45		
120	UCPG324D1	160	570	450			65	320	126		51	UC324D1	207	185	PG324D1	55	
130	UCPG326D1	180	600	480	110	75	355	135	54	M33	UC326D1	229	214	PG326D1	72		
140	UCPG328D1	200	620	500			390	145	59		UC328D1	253	246	PG328D1	89		

Tabla N°22: Selección de chumaceras de la corporación NTN (for new technology network).

Escogemos según su diámetro de preferencia.

5.6.12. Selección de chaveta entre turbina y eje.

$$F_a = \frac{T_a}{\frac{D_{eje}}{2}} \dots\dots\dots 117 \qquad F_m = \frac{T_m}{\frac{D_{eje}}{2}} \dots\dots\dots (118)$$

Dónde:

F_a = Fuerza alternante en el chaveta (N)

F_m = Fuerza medio en la chaveta (N)

$T_a = T_m = T$

$F_a = F_m$

$$F_a = \frac{503709.444\text{Nmm}}{\frac{48}{2}}$$

$$F_m = \frac{503709.444\text{Nmm}}{\frac{48}{2}}$$

$$F_a = 20987.894\text{N}$$

$$F_m = 20987.894\text{N}$$

A. Falla por corte.

$$\tau_{xy} = \frac{F}{A_{\text{corte}}} = \frac{F}{b * l}$$

Dónde:

A_{corte} = Area de chaveta al aplicar un corte (m²).

l = Longitud de chaveta (m)

$$\tau_a = \frac{F_a}{A_{\text{corte}}} = \frac{20987.894\text{N}}{0.014 * 0.055} = 27.257\text{MPa}$$

$$\tau_m = \frac{F_m}{A_{\text{corte}}} = \frac{20987.894\text{N}}{0.014 * 0.055} = 27.257\text{MPa}$$

Calculamos los esfuerzos por von Mises equivalentes para cada uno de los componentes.

$$\sigma'_m = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x * \sigma_y + 3\tau_{xy}^2}$$

$$\sigma'_m = \sqrt{0 + 0 - 0 + 3 * 27.257^2}$$

$$\sigma'_m = 47.211\text{MPa}$$

$$\sigma'_a = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x * \sigma_y + 3\tau_{xy}^2}$$

$$\sigma'_a = \sqrt{0 + 0 - 0 + 3 * 27.257^2}$$

$$\sigma'_a = 47.211\text{MPa}$$

Propiedades mecánicas de la chaveta es AISI 4130 acero recosido a 865°.

$$S_\mu = 560\text{MPa} \quad S_y = 460\text{MPa}$$

Para aceros: $S'_e = 0.5S_\mu = 0.5 * 560\text{MPa} = 280\text{MPa}$

Considerando un factor de corrección para el límite de la fatiga estandarizado en chavetas.

$$S_e = 0.68S'_e = 0.68 * 280\text{MPa} = 190.4\text{MPa}$$

Determinar el factor de seguridad a la fatiga en la chaveta de la turbina.

$$N_f = \frac{1}{\frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_\mu}} = \frac{1}{\frac{47.211\text{MPa}}{190.4\text{MPa}} + \frac{47.211\text{MPa}}{560\text{MPa}}}$$

$$N_f = 3$$

B. Falla por aplastamiento.

El esfuerzo de apoyo sobre la chaveta es a compresión y se puede considerar como una carga estática

$$\sigma_x = \frac{F_a + F_m}{A_{\text{apoyo}}} = \frac{F_a + F_m}{t_1 * l} \dots \dots \dots (119)$$

$$\sigma_{\text{max}} = \sigma_x = \frac{20987.894\text{N} + 20987.894\text{N}}{0.0055 * 0.055} = 138.763\text{MPa}$$

El factor de seguridad por falla de los apoyos es:

$$N_s = \frac{S_y}{\sigma_{\text{max}}} = \frac{460\text{MPa}}{138.763\text{MPa}}$$

$$N_s = 3.3$$

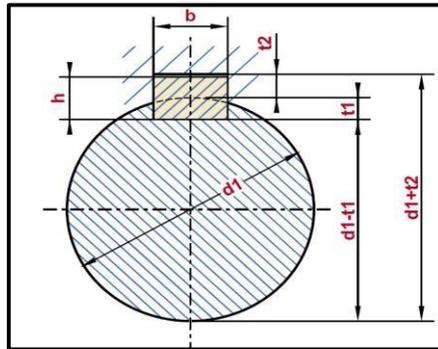


Fig. N°40: Dimensiones de chaveta y chavetero faja según F. ALVA. Elementos de máquinas. Pg.96.1998.

Ø Eje d (mm) desde-hasta	Medidas chaveta b x h mm	Medidas del chavetero en el cubo				Medidas del chavetero en el eje para chavetas paralelas y de cuña		Medidas de los ejes en el cubo de la rueda	
		Chaveta paralela S/DIN 6885/1		Chaveta de cuña S/DIN 6886 y 6887		t ₁ m/m	Tol. admisible (en altura) m/m	Ø m/m desde- hasta	Tol. H-7 m/m
		d + t ₂ m/m	Tol. Admisible (en altura) m/m	d + t ₂ m/m	Tol. admisible (en altura) m/m				
17-22	6x6	d+2,6	+0,1	d+2,1	+0,1	3,5	+0,2	10-18	+0,018 0
22-30	8x7	d+3,0		d+2,4		4,1			
30-38	10x8	d+3,4		d+2,8		4,7			
38-44	12x8	d+3,2		d+2,6		4,9			
44-50	14x9	d+3,6	+0,2	d+2,9	+0,2	5,5	+0,3	50-80	+0,030 0
50-58	16x10	d+3,9		d+3,2		6,2			
58-65	18x11	d+4,3		d+3,5		6,8			
65-75	20x12	d+4,7		d+3,9		7,4			
75-85	22x14	d+5,6		d+4,8		8,5			
85-95	25x14	d+5,4		d+4,6		8,7			
95-110	28x16	d+6,2		d+5,4		9,9			
110-130	32x18	d+7,1		d+6,1		11,1			
130-150	36x20	d+7,9		d+6,9		12,3			
150-170	40x22	d+8,7		d+7,7		13,5			
170-200	45x25	d+9,9	d+8,9	15,3					
200-230	51x28	d+11,2	d+10,1	17					
230-260	56x32	d+12,9	d+11,8	19,3					
260-290	63x32	d+12,6	+0,3	d+11,5	+0,3	19,6	400-500	+0,063 0	

Tabla N°23: Selección de chaveta.

Chaveta DIN6885 paralela de acero AISI 4030

5.6.13. Dimensionamiento del acoplamiento

$$M_t = \frac{7026 * N * F_s}{n} \dots \dots \dots (120)$$

Dónde:

M_t = Momento torsor (Nm)

Potencia a N = transmitir el acople (HP)

F_s = Factor de servicio en función de la maquina motriz y la conducida

n = Velocidad de giro del acople (RPM)

A. De eje turbina a eje reductor.

$$M_t = \frac{7026 * 64.72\text{HP} * 1.5}{900}$$

$$M_t = 757.87\text{Nm}$$

B. De eje reductor a eje generador

$$M_t = \frac{7026 * 64.72\text{HP} * 0.96 * 1.5}{1800}$$

$$M_t = 363.78 \text{ Nm}$$

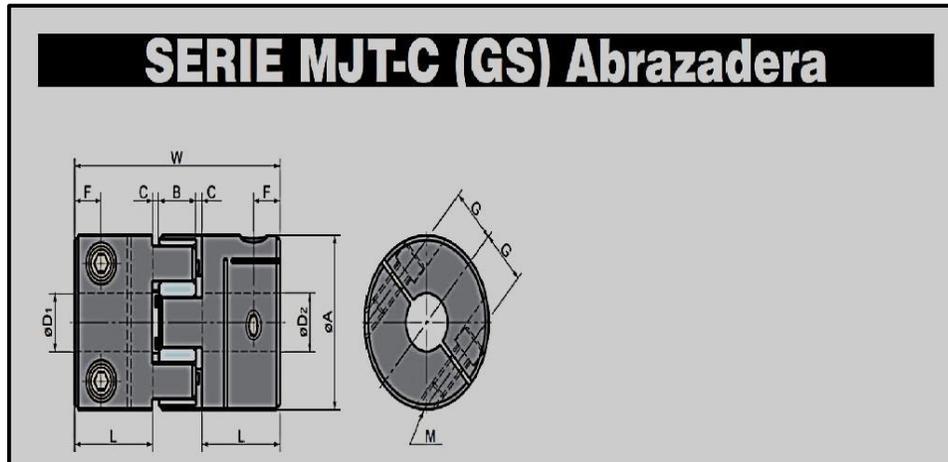


Fig. N°41: Dimensiones de acople NBK.

Tipo	Eje Máx. (mm)	Par Nominal (N-m)	Par Máx. (N-m)	Frecuencia rotacional máx. (min ⁻¹)	Momento de inercia (kg·m ²)	Dureza torsional estática (N·m/rad)	Desalineamiento paralelo (mm)	Desalineamiento angular (°)	Desalineamiento axial (mm)	Peso. (g)
MJT-14C-BL	5	0.7	1.4	45000	1.6×10 ⁻⁷	8	0.15	1.0	+0.6 0	6
MJT-20C-BL	8	1.8	3.6	31000	1.1×10 ⁻⁶	16	0.20	1.0	+0.8 0	19
MJT-30C-BL	12	4	8	21000	6.2×10 ⁻⁶	46	0.20	1.0	+1.0 0	50
MJT-40C-BL	16	4.9	9.8	15000	3.9×10 ⁻⁵	380	0.15	1.0	+1.2 0	160
MJT-55C-BL	25	17	34	11000	1.6×10 ⁻⁴	1400	0.20	1.0	+1.4 0	330
MJT-65C-BL	30	46	92	9000	3.8×10 ⁻⁴	2800	0.20	1.0	+1.5 0	560
MJT-80C-BL	42	95	190	7000	1.0×10 ⁻³	3200	0.20	1.0	+1.8 0	1200
MJT-90C-BL	48	130	260	6000	2.3×10 ⁻³	3600	0.20	1.0	+2.0 0	1900
MJT-14C-WH	5	1.2	2.4	45000	1.6×10 ⁻⁷	14	0.10	1.0	+0.6 0	6
MJT-20C-WH	8	3	6	31000	1.1×10 ⁻⁶	29	0.15	1.0	+0.8 0	19
MJT-30C-WH	12	7.5	15	21000	6.2×10 ⁻⁶	73	0.15	1.0	+1.0 0	50
MJT-40C-WH	16	10	20	15000	3.9×10 ⁻⁵	570	0.10	1.0	+1.2 0	160
MJT-55C-WH	25	35	70	11000	1.6×10 ⁻⁴	1600	0.15	1.0	+1.4 0	330
MJT-65C-WH	30	95	190	9000	3.8×10 ⁻⁴	3000	0.15	1.0	+1.5 0	560
MJT-80C-WH	42	190	380	7000	1.0×10 ⁻³	5300	0.15	1.0	+1.8 0	1200
MJT-90C-WH	48	265	530	6000	2.3×10 ⁻³	6200	0.15	1.0	+2.0 0	1900
MJT-14C-RD	5	2	4	45000	1.6×10 ⁻⁷	22	0.10	1.0	+0.6 0	6
MJT-20C-RD	8	5	10	31000	1.1×10 ⁻⁶	55	0.10	1.0	+0.8 0	19
MJT-30C-RD	12	12.5	25	21000	6.2×10 ⁻⁶	130	0.10	1.0	+1.0 0	50
MJT-40C-RD	16	17	34	15000	3.9×10 ⁻⁵	1200	0.10	1.0	+1.2 0	160
MJT-55C-RD	25	60	120	11000	1.6×10 ⁻⁴	2600	0.10	1.0	+1.4 0	330
MJT-65C-RD	30	160	320	9000	3.8×10 ⁻⁴	4900	0.10	1.0	+1.5 0	560
MJT-80C-RD	42	325	650	7000	1.0×10 ⁻³	6500	0.10	1.0	+1.8 0	1200
MJT-90C-RD	48	450	900	6000	2.3×10 ⁻³	8900	0.10	1.0	+2.0 0	1900

Tabla N°24: selección de acople según fabricación NBK (Nabeya Bi-Tech Kaisha)

6. Análisis de obras civiles

6.1. Análisis de apoyos y anclajes.

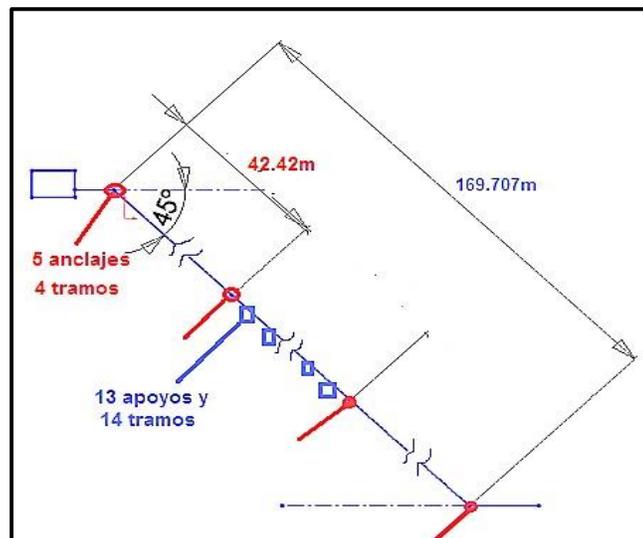


Fig. N°42: Anclajes y apoyos.

6.1.1. Fuerzas que intervienen en los apoyos.

A. Datos Para el cálculo.

➤ **Del tubo de presión.**

$$D_{\text{ext.tub}} = 0.1683\text{m}$$

$$D_{\text{int.tub}} = 0.1540\text{m}$$

$$\alpha = 45^\circ$$

$$L_a = 3\text{m}$$

➤ **Del agua.**

$$\gamma_t = 9780.57\text{N/m}^3$$

➤ **Concreto y tubo de PVC**

$$\mu = 0.65$$

B. Calculo de F1 y F2.

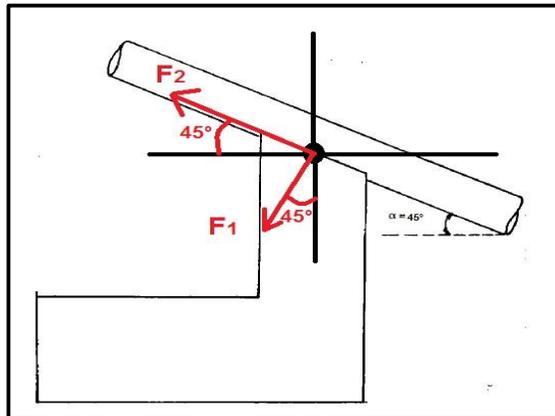


Fig. N°43: Análisis de fuerzas en el apoyo

Calculo de F1:

$$F_1 = W_{\text{tuberia}} * L_a * \cos \alpha \dots \dots \dots (121)$$

$$W_{\text{tuberia}} = W_t + W_a \dots \dots \dots (122)$$

De la fórmula:

$$W_t = 277.23 \text{ N/m}$$

$$W_a = \gamma_a * A_a = \gamma_a * \frac{\pi}{4} D_{\text{int.tub}}^2 \dots \dots \dots (123)$$

$$W_a = 9780.57 \text{ N/m}^3 * \frac{\pi}{4} 0.15408 \text{ m}^2$$

$$W_a = 160.62 \text{ N/m}$$

$$\Rightarrow W_{\text{tuberia}} = 277. \frac{23 \text{ N}}{\text{m}} + 160. \frac{62 \text{ N}}{\text{m}} = 437.85 \text{ N/m}$$

Reemplazando en la fórmula:

$$F_1 = 277.23 \text{ N/m} * 3 \text{ m} * \cos 45$$

$$F_1 = 511.68 \text{ N}$$

Calculo de F2:

$$F_2 = \mu * F_1$$

$$F_2 = 0.65 * 511.68N = 332.59N$$

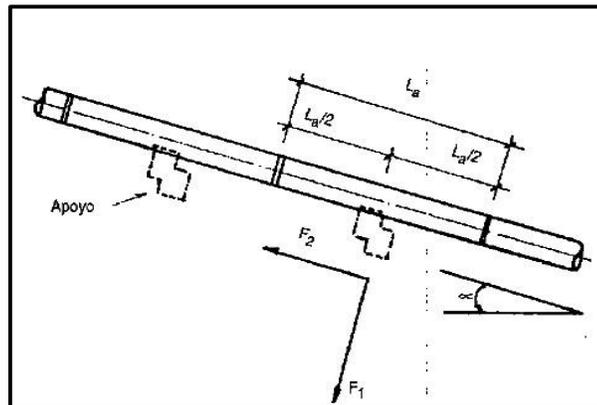


Fig. N°44: Fuerza de rozamiento.

C. Calculo de momento flector y flecha máxima originada por el peso del tubo y agua.

$$M = W_{\text{tuberia}} * \frac{L_a^2}{8} \dots \dots \dots (124)$$

$$M = 437.85N/m * \frac{3m^2}{8}$$

$$M = 271.36Nm$$

Flecha máxima:

$$\Delta_{\text{max}} = \frac{5}{384} * W_{\text{tuberia}} * \frac{L_a^4}{E * I}$$

Conocemos:

$$W_{\text{tuberia}} = 437.85 \text{ N/m}$$

$$L_a = 4.352 \text{ m}$$

$$E = 206.20 * 10^9 \text{ N/m}^2$$

$$I = \frac{\pi D_{\text{ext.tub}}^4 - D_{\text{int.tub}}^4}{64}$$

$$I = \frac{\pi 0.168 \text{ m}^4 - 0.1446 \text{ m}^4}{64} = 1.7642 * 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$\Rightarrow \Delta_{\text{max}} = \frac{5}{384} * 241.21 \text{ N/m} * \frac{3 \text{ m}^4}{2.943 * 10^9 \text{ N/m}^2 * 1.7642 * 10^{-5} \text{ m}^4}$$

$$\Delta_{\text{max}} = 0.0049 \text{ m} = 4.9 \text{ mm}$$

Comparando esta Δ flecha máxima, con la

$$\Delta_{\text{adm.}} = \frac{L_a}{360}$$

$$\Delta_{\text{adm.}} = \frac{3 \text{ m}}{360} = 0.0083 \text{ m} = 8.3 \text{ mm}$$

Luego: $\Delta_{\text{max}} < \Delta_{\text{adm.}} \Rightarrow 4.9 \text{ mm} < 8.3 \text{ mm}$ ok!

D. Condición de equilibrio

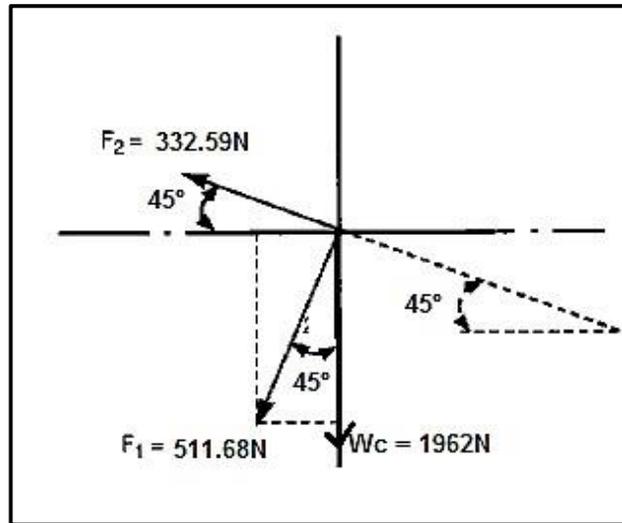


Fig. N°45: Equilibrio de fuerzas.

$$F_x = -F_1 * \sin 45 - F_2 * \cos 45$$

$$F_x = 596.99\text{N}$$

W_c =Peso del concreto.

$$F_y = -F_1 * \cos 45 + F_2 * \sin 45 - W_c$$

$$F_y = 2088.64\text{N}$$

Aplicando la condición de equilibrio

$$F_x < \mu \quad F_y$$

μ = Tomando el caso más desfavorable de 0.3

$$596.99\text{N} < 0.3 * 2088.64\text{N}$$

$$596.99\text{N} < 626.592\text{N ok!}$$

Dónde:

$W_{\text{tubería}}$ =(Peso del tubo más peso del agua) (KG/m) Peso

W_t =del tubo por unidad de longitud (N/m)

W_a = Peso del agua por unidad de longitud (N/m)

W_x =Fuerza longitudinal, paralela al tubo

$W_y = F_1$ =Fuerza perpendicular al tubo(N)

F_2 =Fuerza de fricción entre tubo y apoyo, originada por F_1 (N).

L_a =Distancia entre los apoyos o entre los puntos medios de 2 tramos consecutivos (m).

μ =Coeficiente de fricción entre tubo y concreto (PVC y concreto) ($\mu = 0.6$ o 0.7)

α = Angulo de inclinación de la tubería

γ_t = Peso específico del material de la tubería (N/m³)

γ_a = Peso específico del agua (N/m³).

6.1.2. Fuerzas que intervienen en el anclaje

A. Calculo de fuerzas.

➤ Componente del peso de la tubería con agua

perpendicular a ella F'_1

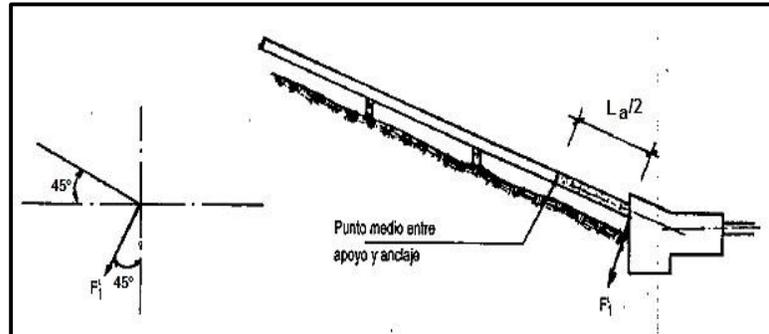


Fig. N°46: Análisis de fuerza.

$$F'_1 = W_{\text{tubería}} * \frac{L_a}{2} * \cos \alpha$$

$$F'_1 = 241.21\text{N/m} * \frac{3}{2} * \cos 45$$

$$F'_1 = 255.84\text{N}$$

➤ **Fuerza de fricción entre la tubería y los apoyos F'_2 :**

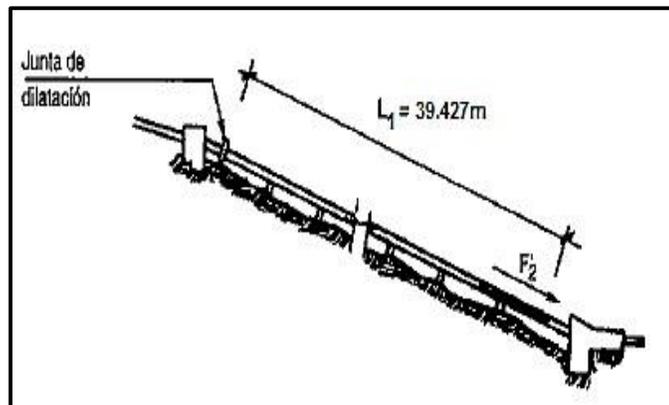


Fig. N°47: Fuerza de fricción.

$$F'_2 = \mu * W_{tuberia} * L_1 * \cos \alpha$$

$$F'_2 = 0.65 * \frac{241.21N}{m} * 39.427 * \cos 45^\circ$$

$$F'_2 = 4371.066N$$

- **Fuerza en los cambios de dirección debido a la presión hidrostática F3:**

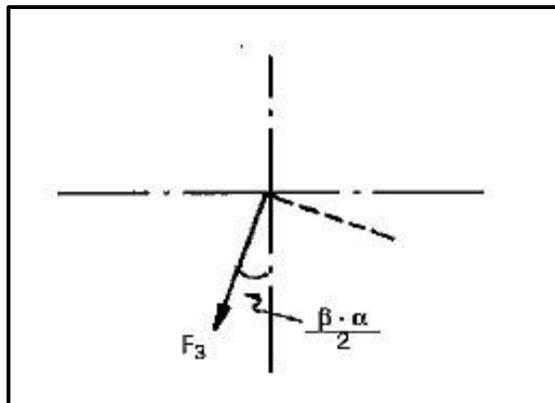


Fig. N°48: Presión hidrostática.

$$F_3 = 1.6 * 10^3 * h_{disp} * D^2_{int.tub} * \sin \frac{\beta - \alpha}{2} \dots \dots (125)$$

$$F_3 = 1.6 * 10^3 * -120m * 0.1446m^2 * \sin \frac{0 - 45^\circ}{2}$$

$$F_3 = 1536.31Kg - f = 15071.15$$

- **Componente del peso de la tubería paralela a ella F4 .**

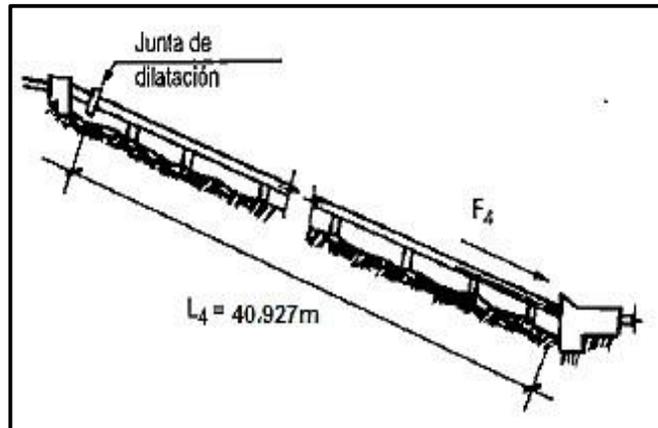


Fig. N°49: Componente del peso de la tubería.

$$F_4 = W_t * L_4 * \sin \alpha$$

$$F_4 = 80.59 \text{N/m}^2 * 40.927 \text{m} * \sin 45$$

$$F_4 = 2332.26 \text{N}$$

- **Fuerza debida a cambios de temperatura en la tubería**

$$F_5.$$

$F_5 = 0$, Ya que en dicho tramo se ha previsto de una junta de dilatación.

- **Fuerza de fricción en la junta de dilatación F_6 .**

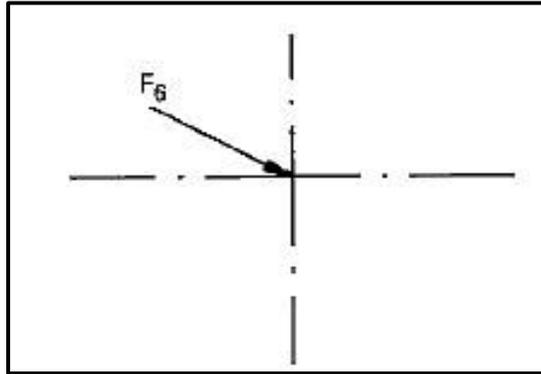


Fig. N°50: Fuerza de fricción en junta de dilatación.

Para este caso, aplicamos un valor aproximado.

$$F_6 = 10 * D_{int.tub}$$

$$F_6 = 10 * 144.6mm$$

$$F_6 = 1446Kg - f = 14185.26N$$

- **Fuerza debida a la presión hidrostática dentro de las juntas de expansión F_7 .**

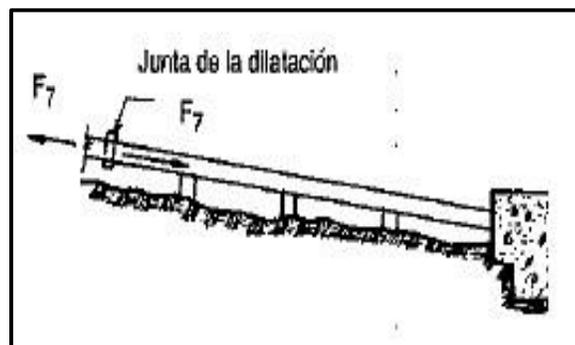


Fig. N°51: Fuerza debido a la presión hidrostática.

$$F_7 = 3.1 * h_{disp} * D_{int.tub} * t$$

$$F_7 = 3.1 * 120m * 0.1446m * 11.7mmm$$

$$F_7 = 629.36Kg - f = 6173.99N$$

- **Fuerza debido al cambio de dirección de la cantidad de movimiento F_8**

$$F_8 = 250 Q/D_{int.tub}^2 * \sin \frac{\beta - \alpha}{2}$$

$$F_8 = 250 \quad 0.0511m^3/s / 0.1446m^2 * \sin \frac{0 - 45}{2}$$

$$F_8 = 11.95Kg - f = 117.21N$$

- **Fuerza debido al cambio del diámetro en la tubería cuando hay reducción F_9 .**

$$F_9 = 0, \text{ No hay reducción de diámetro en este tramo}$$

Resumen de fuerzas.

B. Calculo de estabilidad del anclaje.

Resumen de fuerzas.

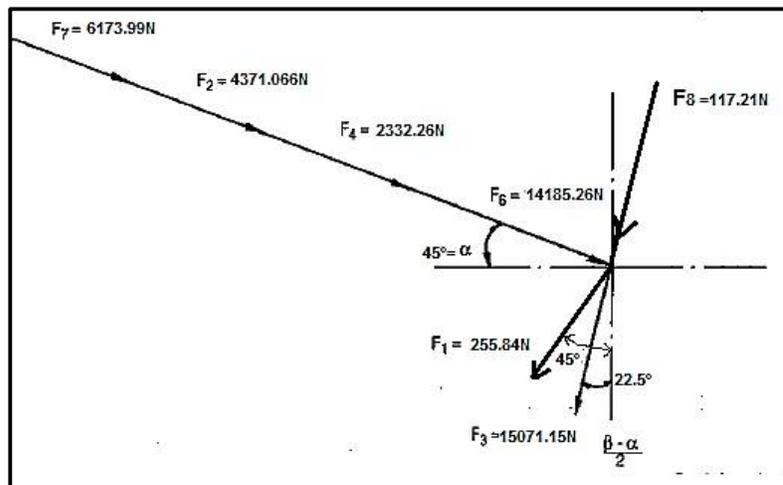


Fig. N°52: Análisis de equilibrio en anclaje.

➤ Cálculo de F_x :

$$F_x$$

$$= -F_1 \sin 45 - F_3 + F_8 \sin 22.5$$

$$+ F_7 + F_2 + F_4 + F_6 \cos 45$$

$$F_x = 13142.89\text{N}$$

➤ Cálculo de F_y :

$$F_y = -F_1 \cos 45 - F_3 + F_8 \cos 22.5 - F_7 + F_2 + F_4 + F_6 \sin 45$$

$$F_y = -33349.25$$

- **Una vez conocidas la sumatoria de fuerzas, aplicamos la condición de equilibrio.**

$$F_x < \mu \quad F_y$$

Coefficiente de fricción $\mu = 0.5 =$ entre concreto y suelo

$$13142.89\text{N} < 0.5 * 33349.25\text{N}$$

$$13142.89\text{N} < 16674.625\text{N} \text{ OK!}$$

6.2. Diseño de cámara de carga.

6.2.1. Cámara de carga.

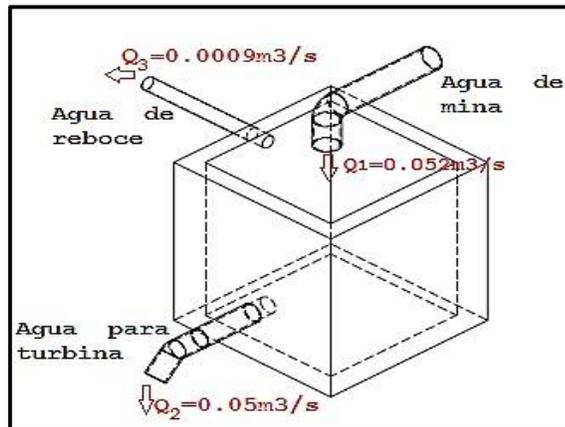


Fig. N°53: Análisis en cámara de carga.

- a) Volumen de control deformable y fijo
 $\Rightarrow V \neq Cte$
- b) Flujo incompresible en todo el volumen de control
 $\Rightarrow \rho = Cte$
- c) Flujo unidimensional y uniforme en las secciones de entradas y salidas.

Aplicando la ecuación de continuidad para flujo incompresible si el volumen de control ($V \cdot c$) es constante.

$$\rho \int_{s.c} V \cdot dA = - \frac{\partial}{\partial t} \int_{v.c} \rho \cdot dV \dots \dots \dots (126)$$

Analizando el primer miembro.

Por "b": $\rho = cte \Rightarrow \int_{s.c} \rho \cdot V \cdot dA = \rho \int_{s.c} V \cdot dA$

Analizando el segundo miembro.

Por "a" y "b":

$$\Rightarrow -\frac{\partial}{\partial t} \int_{v.c} \rho * dV = -\frac{\partial}{\partial t} * \rho \int_{v.c} dV = -\frac{\partial}{\partial t} * \rho * V = -\rho \frac{\partial V}{\partial t}$$

$$\Rightarrow \rho \int_{s.c} V * dA = -\rho \frac{\partial V}{\partial t}$$

$$\Rightarrow \int_{s.c} V * dA = -\frac{\partial V}{\partial t} = -A \frac{\partial h}{\partial t}$$

Ecuación aplicable

$$\Rightarrow \int_{s.c} V * dA = -A \frac{\partial h}{\partial t} \quad \text{Pero } V = \text{cte}$$

$$V_1 * dA_1 + V_2 * dA_2 = -A \frac{\partial h}{\partial t}$$

$$-V_1 * A_1 + V_2 * A_2 = -A \frac{dh}{dt}$$

$$-Q_1 + Q_2 = -A \frac{dh}{dt} \quad \Rightarrow -0.052 \text{m}^3/\text{s} + 0.0511 \text{m}^3/\text{s} = -A \frac{dh}{dt}$$

$$-A \frac{dh}{dt} = -0.0009 \quad \Rightarrow \int_0^h -A dh = \int_0^t -0.0009 dt$$

$$-A_{\text{tanque}} * h_{\text{tanque}} = -0.0009 \text{m}^3/\text{s} * t$$

$$\Rightarrow V_{\text{tanque}} = 0.0009 \text{m}^3/\text{s} * t$$

$$\Rightarrow t = \frac{V_{\text{tanque}}}{0.0009\text{m}^3/\text{s}}$$

$$\text{Si: } \Rightarrow V_{\text{tanque}} = A_{\text{tanque}} * h_{\text{tanque}}$$

$$V_{\text{tanque}} = 1.2\text{m} * 1.2\text{m} * 1.4\text{m}$$

$$V_{\text{tanque}} = 2.016\text{m}^3$$

El tiempo para que demore en llenar este volumen es:

$$\Rightarrow t = \frac{2.016\text{m}^3}{0.0009\text{m}^3/\text{s}}$$

$$t = 2240\text{s} = 37.33\text{min} = 0.62\text{h}$$

7. Análisis económico y financiero de hidro con turbina péltón.

Este análisis solo se hará por 15KW, ya que el restante lo utilizara el dueño de la hidro con turbina pelton, queremos ver si devuelve la inversión.

7.1. Flujo de caja interno.

A. Costos en la hidro con turbina pelton de 50KW

	TOTAL	AÑO S/.	
	S/.	1	2
COSTOS DE INVERSIÓN			
1. Activo fijo Obras			
civiles	19800		19800
➤ Cámara de carga			1000
➤ Cimentación de tubería forzada			15000
➤ Casa de maquinas			3000
➤ Canal de descarga			500
➤ Obras complementarias			300
Maquinaria y equipo electromecánico			50000
50000			
➤ Tubería de acero			20000
➤ Turbina			7000
➤ Generador y accesorios			3000
➤ Sub-estación de distribución			20000
Montaje e instalación de maquinaria y equipo electromecánico.			26000
26000			
➤ Instalación de maquinaria y equipo electro-mecánico.			
➤ Instalación de redes y sub-estaciones			10000
➤ Flete de transporte			5000
➤ Otros			10000
			1000
			2000
	4000	2000	
		2000	
2. Activo Intangible			1000
➤ Estudios de pre-inversión			1000
➤ Asesoría técnica y supervisión			
➤ Gastos generales			
Costo total de inversión	99800	2000	97800

Costo anual (entre 5 años)	19,960.00	
-----------------------------------	-----------	--

Tabla N°25: Costos de inversión de hidro con turbina péltón.

COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	CADA 3 MESES	CADA AÑO
1. Costos de operación		
➤ Gastos de personal	100.00	400.00
➤ Lubricantes y grasas	100.00	400.00
➤ Equipo e implementos de seguridad	30.00	120.00
➤ Materiales de oficina	10.00	40.00
➤ Gastos misceláneos	10.00	40.00
2. Costos de mantenimiento		
➤ Materiales y repuestos de generación, transformación y transmisión	500.00	2,000.00
➤ Herramientas	75.00	300.00
➤ otros	25.00	100.00
TOTAL S/.	850.00	3,400.00

Tabla N°26: costos de operación y mantenimiento de hidro con turbina pelton.

B. Factor Planta.

$$F.P = \frac{P_{usada.}}{P_{Instalada.}} \dots \dots \dots (127)$$

$$F.P = \frac{446.67KW * hora}{45KW * 24horas} = 0.41$$

C. Costo unitario de energía(CUE)

$$CUE = \frac{\text{costos anuales totales}}{P_{\text{Instalada.}} * 8760 * F.P} \dots \dots \dots (128)$$

$$CUE = \frac{24500}{45KW * 8760 * 0.41} = \frac{0.15S/}{KW * hora}$$

D. Ingresos por venta de energía anual.

AÑOS	VALOR DE ENERGÍA KW*h	INGRESO POR VENTA DE ENERGÍA(0.15) S/.
3-5	21900	3,285.00
6-10	43800	6,570.00
11-15	65700	9,855.00
16-20	87600	13,140.00
21-25	109500	16,425.00
25-30	131400	19,710.00

Tabla N°27: Ingresos por venta de energía anual.

E. Valor residual de rescate

- ✓ **Valor residual de las obras civiles.**

$$V'_{R30} = \frac{VI^c 1 - n}{N} \dots \dots \dots (129)$$

Dónde:

N = 50años = Vida útil de sedimentaciones

$$V'_{R30} = \frac{19800 1 - 30}{50} = 11,484.00 \text{ soles}$$

✓ **Valor residual de maquinaria y equipo electromecánico**

$$V''_{R30} = \frac{VI^m 1 - n}{N}$$

$$V''_{R30} = \frac{50000 1 - 28}{30} = 45,000.00 \text{ soles}$$

✓ **Otros valores residuales**

Capital de trabajo, mantenimiento cada 3 meses.

$$V'''_{R30} = 850 \cdot 3 \cdot 12 = 212.5 \text{ soles}$$

$$V_{R30} = V'_{R30} + V''_{R30} + V'''_{R30} \dots \dots \dots (130)$$

$$V_{R30} = 11,484.00 + 45,000.00 + 212.5 = 56,696.50 \text{ soles}$$

AÑO	BENEFICIOS (INGRESOS)			COSTOS(EGRESOS)			FLUJO DE CAJA
	VAL. ENER. KW*H	VAL. RESIDUA L	BENEF. TOTAL	INVERS.	OPERAC. Y MANT.	COSTOS TOTAL	
A	B	C	D	E	F	G	H

1	0		0	2,000.00		2,000.00	2,000.00
2	0		0	97,800.0		97,800.00	97,800.00
3	3,285.00		3,285.00	0		3,400.00	115.00
4	3,285.00		3,285.00		3,400.00	3,400.00	115.00
5	3,285.00		3,285.00		3,400.00	3,400.00	115.00
6	6,570.00		6,570.00		3,400.00	3,400.00	3,170.00
7	6,570.00		6,570.00		3,400.00	3,400.00	3,170.00
8	6,570.00		6,570.00		3,400.00	3,400.00	3,170.00
9	6,570.00		6,570.00		3,400.00	3,400.00	3,170.00
10	6,570.00		6,570.00		3,400.00	3,400.00	3,170.00
11	9,855.00		9,855.00		3,400.00	3,400.00	6,455.00
12	9,855.00		9,855.00		3,400.00	3,400.00	6,455.00
13	9,855.00		9,855.00		3,400.00	3,400.00	6,455.00
14	9,855.00		9,855.00		3,400.00	3,400.00	6,455.00
15	9,855.00		9,855.00		3,400.00	3,400.00	6,455.00
16	13,140.00		13,140.00		3,400.00	3,400.00	9,740.00
17	13,140.00		13,140.00		3,400.00	3,400.00	9,740.00
18	13,140.00		13,140.00		3,400.00	3,400.00	9,740.00
19	13,140.00		13,140.00		3,400.00	3,400.00	9,740.00
20	13,140.00		13,140.00		3,400.00	3,400.00	9,740.00
21	16,425.00		16,425.00		3,400.00	3,400.00	13,025.00
22	16,425.00		16,425.00		3,400.00	3,400.00	13,025.00
23	16,425.00		16,425.00		3,400.00	3,400.00	13,025.00
24	16,425.00		16,425.00		3,400.00	3,400.00	13,025.00
25	16,425.00		16,425.00		3,400.00	3,400.00	13,025.00
26	19,710.00		19,710.00		3,400.00	3,400.00	16,310.00
27	19,710.00		19,710.00		3,400.00	3,400.00	16,310.00
28	19,710.00		19,710.00		3,400.00	3,400.00	16,310.00
29	19,710.00		19,710.00		3,400.00	3,400.00	16,310.00
30	19,710.00		76,406.50		3,400.00	3,400.00	73,306.50
		56,696.50					
			395,051.50			188,200.00	

Tabla N°28: Flujo de caja interno beneficio - costo.

7.2. Valor actual neto (van).

AÑO	FLUJO DE CAJA	TASA 10%		TASA 1%	
		FACTOR DEL VALOR DEL VALOR ACTUAL	VANE 10%	FACTOR DEL VALOR ACTUAL	VANE 1%
A	B	C	D	E	F
1	2000	0.9091	1818.2	0.9901	1980.2
2	97800	0.8265	80831.7	0.9803	95873.34
3	115.00	0.7513	86.40	0.9706	111.62
4	115.00	0.683	78.56	0.9610	110.52
5	115.00	0.6209	71.40	0.9515	109.42
6	3,170.00	0.5646	1789.78	0.9421	2986.46
7	3,170.00	0.5132	1626.84	0.9327	2956.66
8	3,170.00	0.4665	1478.81	0.9235	2927.50
9	3,170.00	0.4241	1344.40	0.9143	2898.33
10	3,170.00	0.3856	1222.35	0.9053	2869.80
11	6,455.00	0.3505	2262.48	0.8963	5785.62
12	6,455.00	0.3186	2056.56	0.8875	5728.81
12	6,455.00	0.2897	1870.01	0.8787	5672.01
14	6,455.00	0.2633	1699.60	0.8700	5615.85
15	6,455.00	0.2394	1545.33	0.8614	5560.34
16	9,740.00	0.2176	2119.42	0.8528	8306.27
17	9,740.00	0.1979	1927.55	0.8444	8224.46
18	9,740.00	0.1799	1752.23	0.8360	8142.64
19	9,740.00	0.1635	1592.49	0.8277	8061.80
20	9,740.00	0.1487	1448.34	0.8196	7982.90
21	13,025.00	0.1351	1759.68	0.8114	10568.49
22	13,025.00	0.1229	1600.77	0.8034	10464.29
23	13,025.00	0.1117	1454.90	0.7955	10361.39
24	13,025.00	0.1015	1322.04	0.7876	10258.49
25	13,025.00	0.0923	1202.21	0.7798	10156.90
26	16,310.00	0.0839	1368.41	0.7721	12592.95
27	16,310.00	0.0763	1244.45	0.7644	12467.36
28	16,310.00	0.0694	1131.91	0.7368	12017.21

29	16,310.00	0.068	1109.08	0.7484	12206.40
30	73,306.50	0.0573	4200.46	0.7419	54386.09
			VANE: 40,756.16	VANE:	141,013.90

Tabla N°29: Valores actuales netos.

Seleccionamos según la tasa:

Hallar "P" dado "F" (P/R, i, n)															Factor de valor actual	
n	i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	25	30
1		0.9901	0.9804	0.9615	0.9615	0.9524	0.9434	0.9346	0.9259	0.9174	0.9091	0.8929	0.8696	0.8333	0.8000	0.7692
2		0.9803	0.9612	0.9426	0.9246	0.9070	0.8900	0.8734	0.8573	0.8417	0.8265	0.7972	0.7562	0.6945	0.6400	0.5917
3		0.9706	0.9423	0.9152	0.8890	0.8638	0.8396	0.8163	0.7938	0.7722	0.7513	0.7118	0.6575	0.5787	0.5120	0.4552
4		0.9610	0.9239	0.8855	0.8548	0.8227	0.7921	0.7629	0.7350	0.7084	0.6830	0.6335	0.5718	0.4823	0.4086	0.3501
5		0.9515	0.9057	0.8626	0.8219	0.7835	0.7473	0.7130	0.6806	0.6499	0.6209	0.5674	0.4972	0.4019	0.3277	0.2693
6		0.9421	0.8880	0.8375	0.7903	0.7462	0.7050	0.6664	0.6302	0.5963	0.5646	0.5066	0.4323	0.3349	0.2622	0.2072
7		0.9327	0.8706	0.8114	0.7599	0.7267	0.6851	0.6628	0.5835	0.5470	0.5132	0.4524	0.3759	0.3291	0.2097	0.1594
8		0.9235	0.8535	0.7894	0.7307	0.6768	0.6274	0.5820	0.5403	0.5019	0.4665	0.4039	0.3269	0.2326	0.1678	0.1226
9		0.9143	0.8368	0.7664	0.7026	0.6446	0.5919	0.5439	0.5003	0.4604	0.4241	0.3606	0.2843	0.1938	0.1342	0.0943
10		0.9053	0.8204	0.7441	0.6756	0.6139	0.5584	0.5084	0.4632	0.4224	0.3856	0.3220	0.2472	0.1615	0.1074	0.0725
11		0.8963	0.8043	0.7224	0.6496	0.5847	0.5268	0.4751	0.4269	0.3875	0.3505	0.2875	0.2150	0.1346	0.0859	0.0558
12		0.8875	0.7885	0.7014	0.6246	0.5568	0.4970	0.4440	0.3971	0.3555	0.3186	0.2567	0.1869	0.1122	0.0687	0.0429
13		0.8787	0.7730	0.6810	0.6006	0.5303	0.4688	0.4150	0.3677	0.3262	0.2897	0.2292	0.1625	0.0935	0.0550	0.0330
14		0.8700	0.7579	0.6611	0.5775	0.5051	0.4423	0.3878	0.3405	0.2993	0.2633	0.2046	0.1413	0.0779	0.0440	0.0254
15		0.8614	0.7430	0.6419	0.5553	0.4810	0.4173	0.3625	0.3153	0.2745	0.2394	0.1827	0.1229	0.0649	0.0352	0.0196
16		0.8528	0.7265	0.6232	0.5339	0.4581	0.3937	0.3387	0.2919	0.2519	0.2176	0.1631	0.1069	0.0541	0.0282	0.0150
17		0.8444	0.7142	0.6050	0.5134	0.4363	0.3714	0.3166	0.2708	0.2311	0.1979	0.1457	0.0929	0.0451	0.0225	0.0116
18		0.8360	0.7002	0.5874	0.4936	0.4155	0.3504	0.2959	0.2503	0.2120	0.1799	0.1300	0.0808	0.0376	0.0180	0.0089
19		0.8277	0.6864	0.5703	0.4747	0.3957	0.3305	0.2765	0.2317	0.1945	0.1635	0.1161	0.0703	0.0313	0.0144	0.0069
20		0.8196	0.6730	0.5537	0.4564	0.3769	0.3118	0.2584	0.2146	0.1784	0.1487	0.1037	0.0611	0.0261	0.0115	0.0053
21		0.8114	0.6598	0.5376	0.4388	0.3590	0.2942	0.2415	0.1987	0.1637	0.1351	0.0926	0.0531	0.0217	0.0092	0.0041
22		0.8034	0.6468	0.5319	0.4220	0.3419	0.2775	0.2257	0.1840	0.1502	0.1229	0.0827	0.0462	0.0181	0.0074	0.0031
23		0.7955	0.6342	0.5067	0.4057	0.3256	0.2618	0.2110	0.1703	0.1378	0.1117	0.0738	0.0402	0.0151	0.0059	0.0024
24		0.7876	0.6217	0.4919	0.3901	0.3101	0.2470	0.1972	0.1577	0.1264	0.1015	0.0659	0.0349	0.0126	0.0047	0.0019
25		0.7798	0.6095	0.4776	0.3751	0.2953	0.2330	0.1843	0.1460	0.1160	0.0923	0.0588	0.0304	0.0105	0.0038	0.0014
26		0.7721	0.5976	0.4637	0.3607	0.2813	0.2198	0.1722	0.1352	0.1064	0.0839	0.0525	0.0264	0.0087	0.0030	0.0011
27		0.7644	0.5859	0.4502	0.3468	0.2679	0.2074	0.1609	0.1252	0.0976	0.0763	0.0469	0.0230	0.0073	0.0024	0.0008
28		0.7368	0.5744	0.4371	0.3335	0.2551	0.1956	0.1504	0.1159	0.0896	0.0694	0.0419	0.0200	0.0061	0.0019	0.0007
29		0.7484	0.5631	0.4244	0.3207	0.2430	0.1846	0.1406	0.1073	0.0822	0.0680	0.0374	0.0174	0.0051	0.0016	0.0005
30		0.7419	0.5521	0.4120	0.3083	0.2314	0.1741	0.1314	0.0994	0.0754	0.0573	0.0334	0.0151	0.0042	0.0012	0.0004
31		0.7346	0.5413	0.4000	0.2965	0.2204	0.1653	0.1228	0.0920	0.0692	0.0521	0.0298	0.0131	0.0035	0.0010	0.0003
32		0.7273	0.5306	0.3883	0.2851	0.2099	0.1550	0.1148	0.0852	0.0634	0.0474	0.0266	0.0114	0.0029	0.0008	0.0002
33		0.7201	0.5202	0.3770	0.2741	0.1999	0.1462	0.1072	0.0789	0.0582	0.0431	0.0238	0.0099	0.0024	0.0006	0.0002
34		0.7130	0.5100	0.3661	0.2636	0.1904	0.1379	0.1002	0.0731	0.0534	0.0392	0.0212	0.0086	0.0020	0.0005	0.0001
35		0.7059	0.5000	0.3554	0.2534	0.1813	0.1301	0.0937	0.0676	0.0490	0.0356	0.0189	0.0075	0.0017	0.0004	0.0001

Tabla N°30: Factor de valor actual.

7.3. Cálculo de la tasa interna de retorno (tir).

Calculamos el TIR mediante este gráfico.

Cuando el VAN=0 entonces el TIR = 7.97%

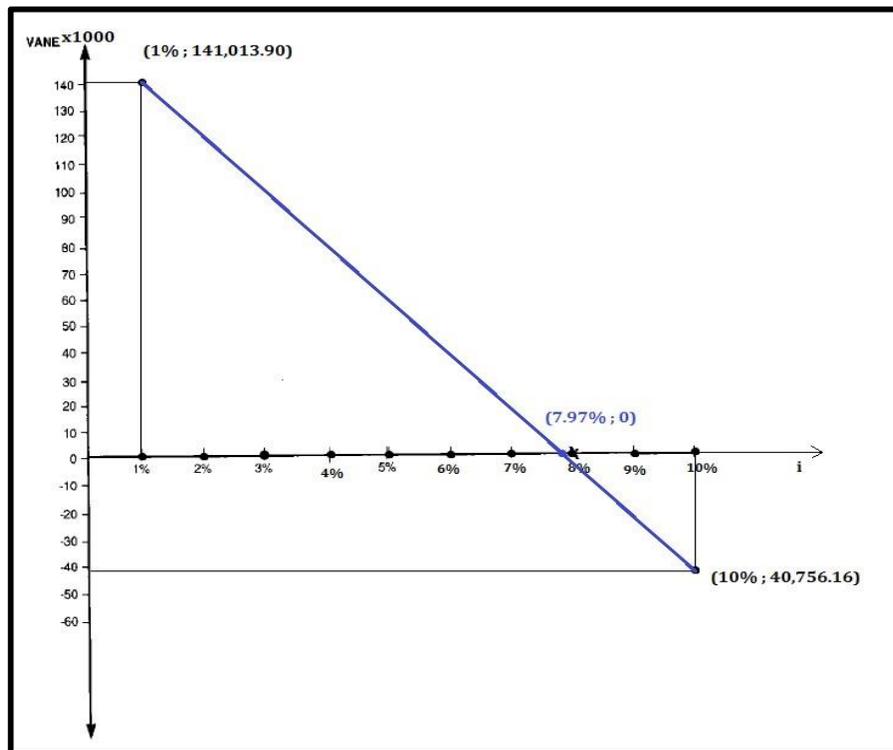


Fig. N°54: Grafico VANE-TIR.

7.4. Cálculo del costo del kwxh.

A. Costos

➤ Columna B.

En esta columna se colocan los costos totales anuales de la MCH, obtenidos del cuadro de flujo de caja interno de la columna G.

En el último año, se resta al costo el valor residual.

➤ **Columna C.**

En esta columna se colocan los factores del valor actual de pago único a la tasa de descuento o interés que seleccioné.

En esta columna se tiene una serie de pagos iguales, desde el año 3 hasta el año 29. Para ahorrar esfuerzos se puede calcular un solo valor del factor actual, aunque en ese caso se trataría de una serie de pagos iguales. El factor se calcula tomando los valores de la tabla.

Factor de valor actual															
Hallar "P" dado "A" (P/A i, n)															
n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	25	30
1	0.9901	0.9804	0.9709	0.9615	0.9524	0.9434	0.9346	0.9259	0.9174	0.9091	0.8929	0.8696	0.8333	0.8000	0.7692
2	0.9704	1.9416	1.9135	1.8861	1.8594	1.8334	1.8080	1.7833	1.7591	1.7355	1.6901	1.6257	1.5278	1.4400	1.3610
3	2.9410	2.8839	2.8288	2.7751	2.7233	2.6730	2.6243	2.5771	2.5313	2.4869	2.4018	2.2832	2.1065	1.9520	1.8161
4	3.9020	3.8077	3.7171	3.6299	3.5460	3.4651	3.3872	3.3121	3.2397	3.1699	3.0374	2.8550	2.5987	2.3616	2.1663
5	4.8534	4.7135	4.5797	4.4518	4.3295	4.2124	4.1002	3.9927	3.8897	3.7908	3.6048	3.3522	2.9906	2.6893	2.4356
6	5.7955	5.6014	5.4172	5.2421	5.0757	4.9173	4.7665	4.6229	4.4859	4.3553	4.1114	3.7845	3.3255	2.9514	2.6428
7	6.7282	6.4720	6.2303	6.0021	5.7864	5.5824	5.3893	5.2064	5.0330	4.8694	4.5638	4.1604	3.6094	3.1611	2.8021
8	7.6517	7.3255	7.0197	6.7328	6.4632	6.2098	5.9713	5.7466	5.5346	5.3349	4.9373	4.4673	3.8372	3.3289	2.9247
9	8.5660	8.1622	7.7861	7.4353	7.1078	6.8017	6.5152	6.2469	5.9953	5.7590	5.3283	4.7716	4.0310	3.4631	3.0190
10	9.4713	8.9826	8.5302	8.1109	7.7217	7.3601	7.0236	6.7101	6.4177	6.1446	5.6502	5.0189	4.1925	3.5705	3.0915
11	10.3676	9.7889	9.2526	8.7605	8.3064	7.8869	7.4987	7.1390	6.8052	6.4751	5.9377	5.2337	4.3271	3.6564	3.1473
12	11.2551	10.5754	9.9540	9.3851	8.8533	8.3839	7.9427	7.5361	7.1607	6.8137	6.1944	5.4206	4.4392	3.7251	3.1903
13	12.1338	11.3484	10.6350	9.9857	9.3936	8.8527	8.3577	7.9038	7.4869	7.1034	6.4236	5.5832	4.5327	3.7801	3.2233
14	13.0037	12.1063	11.2961	10.5631	9.8987	9.2850	8.7455	8.2442	7.7862	7.3657	6.6282	5.7245	4.6106	3.8241	3.2487
15	13.8651	12.8493	11.9379	11.1184	10.3797	9.7123	9.1079	8.5595	8.0607	7.6301	6.8109	5.8474	4.6755	3.8593	3.2682
16	14.7179	13.5777	12.5611	11.6523	10.8378	10.1059	9.4467	8.8514	8.3126	7.8237	6.9740	5.9542	4.7296	3.8874	3.2832
17	15.5623	14.2919	13.1661	12.1657	11.2741	10.4773	9.7632	9.1216	8.5436	8.0218	7.1196	6.0472	4.7746	3.9099	3.2948
18	16.3983	14.9920	13.7535	12.6593	11.6896	10.8276	10.0591	9.3719	8.7558	8.2014	7.2497	6.1280	4.8122	3.9280	3.3037
19	17.2260	15.6785	14.3239	13.1339	12.0653	11.1591	10.3356	9.6036	8.9501	8.3649	7.3658	6.1982	4.8435	3.9424	3.3105
20	18.0456	16.3514	14.8775	13.5903	12.4622	11.4699	10.5940	9.8182	9.1286	8.5136	7.4695	6.2593	4.8696	3.9539	3.3158
21	18.8570	17.0112	15.4150	14.0292	12.8212	11.7641	10.8355	10.0168	9.2923	8.6487	7.5620	6.3125	4.8913	3.9631	3.3199
22	19.6604	17.6581	15.9389	14.4511	13.1630	12.0416	11.0613	10.2008	9.4424	8.7716	7.6447	6.3587	4.9094	3.9705	3.3230
23	20.4558	18.2922	16.4436	14.8586	13.4886	12.3034	11.2722	10.3711	9.5802	8.8832	7.7184	6.3988	4.9245	3.9764	3.3254
24	21.2434	18.9139	16.9356	15.2470	13.7987	12.5504	11.4593	10.5288	9.7066	8.9848	7.7843	6.4338	4.9371	3.9811	3.3272
25	22.0232	19.5235	17.4132	15.6221	14.0940	12.7834	11.6536	10.6748	9.8226	9.0771	7.8431	6.4642	4.9476	3.9849	3.3286
26	22.7952	20.1210	17.8769	15.9828	14.3752	13.0032	11.8258	10.8100	9.9290	9.1610	7.8957	6.4908	4.9563	3.9879	3.3297
27	23.5596	20.7069	18.3270	16.3296	14.6430	13.2105	11.9867	10.9352	10.0285	9.2372	7.9425	6.5105	4.9636	3.9903	3.3305
28	24.3165	21.2813	18.7641	16.6631	14.8981	13.4062	12.1371	11.0511	10.1161	9.3066	7.9844	6.5305	4.9697	3.9923	3.3312
29	25.0658	21.8444	19.1885	16.9837	15.1441	13.5907	12.2777	11.1584	10.1983	9.3596	8.0218	6.5509	4.9747	3.9938	3.3317
30	25.8077	22.3965	19.6005	17.2920	15.3725	13.7648	12.4091	11.2578	10.2737	9.4269	8.0552	6.5660	4.9789	3.9951	3.3321
31	26.5423	22.9377	20.0004	17.5885	15.5928	13.9291	12.5318	11.3498	10.3428	9.4790	8.0850	6.5791	4.9825	3.9960	3.3324
32	27.2696	23.4683	20.3888	17.8736	15.8027	14.0841	12.6466	11.4350	10.4063	9.5264	8.1116	6.5905	4.9854	3.9968	3.3326
33	27.9897	23.9886	20.7658	18.1477	16.0026	14.2302	12.7538	11.5139	10.4645	9.5894	8.1354	6.6005	4.9878	3.9975	3.3328
34	28.7027	24.4986	21.1318	18.4112	16.1929	14.3682	12.8540	11.5869	10.5178	9.6086	8.1566	6.6091	4.9899	3.9980	3.3329
35	29.4086	24.9986	21.4872	18.6646	16.3742	14.4983	12.9477	11.6546	10.5688	9.6442	8.1755	6.6166	4.9915	3.9984	3.3330

Tabla N°31: factor de valor actual según A (pagos periódicos)
Tasa de interés 8%

Año del último pago de la serie

$n = 29$: factor 11.1584

Año anterior al primer pago de la serie

$$n = 2: \text{factor } 1.733$$

$$\text{Factor acumulado: } 11.1584 - 1.733 = 9.4254$$

➤ **Columna D**

Resulta de multiplicar los costos totales anuales de la columna B por los factores de la columna C En la última fila I de esa columna se coloca la suma algebraica de los costos totales, es decir, el valor actual total de los costos

B. Energía.

➤ **Columna E**

En esta columna se colocan los valores de la energía que se venderá, en KWxh

➤ **Columna F**

Se colocan los factores del valor actual por pago simple a la tasa de interés seleccionada.

➤ **Columna G**

Resulta de multiplicar los valores de la energía (columna E) por su factor correspondiente (columna F).

La suma de los valores de esta columna es el valor actual de la energía, el cual se coloca en la última fila (I).

➤ **Columna H**

Es el cociente que se obtiene dividiendo el valor actual de los costos entre el valor actual total de la energía:

$$\text{Costo por KWxH} = \frac{\text{Valor Actual total costos}}{\text{Valor actual total energía}} \dots (131)$$

$$\text{Costo por KWxH} = \frac{37,343.98}{621012.24} = 0.0601 \text{ soles}$$

AÑO	COSTOS			ENERGÍA			COSTO DEL KWxH S/.
	COSTO TOTAL ANUAL	FACTOR DEL VALOR ACTUAL	VALOR ACTUAL COSTOS	KWxH VENDIDOS	FACTOR DEL VALOR ACTUAL.	VALOR ACTUAL ENERGÍA KWxH	
A	B	C	D	E	F	G	H

1	2,000.00	0.9259	1,851.80				
2	97,800.00	0.8573	83,843.94				
3	3,400.00						
4	3,400.00			21900	0.7938	17384.22	
5	3,400.00			21900	0.7350	16096.50	
6	3,400.00			21900	0.6806	14905.14	
7	3,400.00			43800	0.6302	27602.76	
8	3,400.00			43800	0.5835	25557.30	
9	3,400.00			43800	0.5403	23665.14	
10	3,400.00			43800	0.5003	21913.14	
11	3,400.00			43800	0.4632	20288.16	
12	3,400.00			65700	0.4289	28178.73	
13	3,400.00			65700	0.3971	26089.47	
14	3,400.00			65700	0.3677	24157.89	
15	3,400.00			65700	0.3405	22370.85	
16	3,400.00			65700	0.3153	20715.21	
17	3,400.00			87600	0.2919	25570.44	
18	3,400.00			87600	0.2703	23678.28	
19	3,400.00	9.4254	32,046.36	87600	0.2503	21926.28	
20	3,400.00			87600	0.2317	20296.92	
21	3,400.00			87600	0.2146	18798.96	
22	3,400.00			169500	0.1987	33679.65	
23	3,400.00			169500	0.1840	31188.00	
24	3,400.00			169500	0.1703	28865.85	
25	3,400.00			169500	0.1577	26730.15	
26	3,400.00			169500	0.1460	24747.00	
27	3,400.00			131400	0.1352	17765.28	
28	3,400.00			131400	0.1252	16451.28	
29	3,400.00			131400	0.1159	15229.26	
30	53,296.00			131400	0.1073	14099.22	
				131400	0.0994	13061.16	
I		0.0994	5,297.62				
			37,343.98			621012.24	0.0601

Tabla N°32: Costo de energía.

7.5. Conclusión de análisis.

Los resultados más significativos son.

VANE (1%) = 141,013.90

TIR = 7.97%

COSTO DEL KWxH = 0.0601 SOLES

RAZÓN BENEFICIO/COSTO (B/C) = $\frac{39,5051.00}{188,200.00} = 2.1$

Estos resultados muestran que sí los índices económicos para aprobar el proyecto son:

VANE > 0, TIR > i%, B/C > 1

“Entonces diremos que el proyecto es aprobado”.

8. Análisis económico del grupo electrógeno de 50kw.

Este análisis se hará para 50KW Porque ya está instalado en el cetro minero trabajando 24 horas diarias actualmente el propietario no vende energía, por lo que no lo consume al 100 %

8.1. Cuadro de costos.

	GASTO DIARIO	GASTO ANUAL	PRECIO UNITARI O SOLES	COSTO TOTAL ANUAL SOLES
COSTOS				
➤ Combustible petróleo D-2	12 GI	4380GI	15	65,700.00
➤ Transporte de combustible		4 cargas	4,000.00	16,000.00
Costo total				81,700.00

Tabla N°33: Cuadro de costos del grupo electrógeno.

COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	CADA 3 MESES	CADA AÑO
3. Costos de operación		
➤ Gastos de personal	200.00	800.00
➤ Lubricantes y grasas	500.00	2000.00
➤ Equipo e implementos de seguridad	50.00	200.00
➤ Materiales de oficina	10.00	40.00
➤ Gastos misceláneos	50.00	100.00
4. Costos de mantenimiento		
➤ Materiales y repuestos de generación, transformación y transmisión	500.00	2,000.00
➤ Herramientas	75.00	300.00
➤ otros	25.00	100.00
TOTAL S/.	1,410.00	5,640.00

Tabla N°34: Costos de operación y mantenimiento de grupo electrógeno.

8.2. Factor planta.

$$F.P = \frac{P_{usada.}}{P_{Instalada.}}$$

$$F.P = \frac{446.67KW * hora}{50KW * 24horas} = 0.37$$

8.3. Costo unitario de energía (cue)

$$CUE = \frac{C_{anual} + O + P}{P_{instalada} * 8760 * FP}$$

$$CUE = \frac{81700 + 5,640.00 \text{ soles/anual}}{50KW * 8760 * 0.37} = 0.54$$

$$CUE = 0.54 \text{ soles/KW} * h$$

IV. DISCUSIÓN.

De acuerdo a las condiciones planteadas en el diseño y análisis económico, el costo unitario de kwh para la hidro con turbina péltón es 0.06 soles, este valor solamente nos arrojó por la venta de energía de 15KW , el cual es beneficioso ya que podemos utilizar la otra cantidad de energía sobrante para el consumo de la empresa y solamente de la venta de energía se devolverá la inversión realizada del proyecto.

El costo unitario de generación del grupo electrógeno es de 0.54 soles/KW * h a comparación de la microcentral hidroeléctrica es muy alto , por lo tanto se puede decir que al vender energía con el grupo electrógeno , no se podría comprar porque el costo es muy elevado para el público.

El financiamiento económico del proyecto es aprobado mediante los parámetros económicos : TIR=7.97% , VANE=141,013.90 y B/C= 2.1 los cuales son factores muy importantes para este proyecto se pueda realizar, si podemos observar el costo anual del grupo electrógeno es de 87,340.00 soles con este dinero se podría pagar el 90% del proyecto

También podemos decir que el costo generado por el grupo electrógeno es abismal en comparación de la micro central hidroeléctrica, nos permitimos decir que en la microcentral hidroeléctrica el costo de mantenimiento es bajo a comparación del grupo electrógeno

El rodete se ha calculado con ecuaciones no tan exactas dadas por diversos autores y las cucharas son medidas aproximadas también con el diámetro del chorro analizadas para un buen funcionamiento junto con el inyector.

El reductor de velocidad considerado fue escogido según tabla ya vista anteriormente para un buen funcionamiento. El cual fue de 80kw que al parecer parece muy grande pero se optó porque trabaja bien en esas condiciones

V. CONCLUSIONES.

De acuerdo con los resultados obtenidos, se muestra que si es viable técnica y económicamente hacer la instalación de la hidro con turbina péltón para la empresa minera CUBAVI SRL.

Concluimos de la siguiente manera:

- ✓ Se pudo determinar la cantidad de energía que entra a la turbina el cual es de
$$P_{ent_{turb}} = 56380.986 \text{ w}$$
- ✓ Se pudo determinar la demanda de energía en la empresa y la venta de ello
Consumo: 86.67KWH.
Venta: 360.KWH.
- ✓ Se logró diseñar y seleccionar.
 - tubería de acero comercia grado A sedula 40 de 6 pulgadas con espesor 7.11mm
 - transmisión (reductor de velocidad de 80kw)
 - turbina péltón de 23 cucharas con un chorro
 - generador de 45KW
 - rodamientos
 - acoples
 - chavetas
 - cámara de carga y apoyo de tuberías
- ✓ se logró realizar un estudio mecánico del sistema de generación arrojando un factor de seguridad de 4

- ✓ Se logró identificar la características geográficas para la instalación de la turbina pelton.

- ✓ Se logró analizar que el proyecto es probable técnico y económicamente, como también se hará un ahorro de dinero, vendiendo una parte de la energía para cubrir los costos del proyecto .
- ✓ Se logró realizar el análisis económico de la hidro con turbina pélton y grupo electrógeno.

VI. RECOMENDACIONES.

- Se recomienda mantener el consumo establecido de energía, según el proyecto diseñado, ya que si ocurriera lo contrario el mecanismo reduciría su vida de trabajo.
- Se recomienda realizar el mantenimiento de la hidro con turbina pelton cada 3 meses para la durabilidad y el buen funcionamiento del mecanismo.
- Verificar que en la cámara de carga no ingresen partículas ajenas al fluido como: arena, bolsas entre otros; porque podría causar erosión en las cucharas de la turbina.
- Se recomienda mantener la energía de venta como máximo de 15 kw, sin sobrepasar este nivel de consumo. Caso contrario se perjudicará la compañía minera CUBAVI S.R.L.
- Se recomienda que cada cierto tiempo se verifique el consumo de energía.

VII. PROPUESTA

La energía es de vital importancia para el desarrollo económico de cualquier país. Con ella es posible llevar a cabo los trabajos que el hombre por el solo es incapaz de hacer. Existen diversas fuentes de energía, entre ellas están los combustibles fósiles y las fuentes de energía renovables como el agua y el viento entre otras. La energía hídrica y eólica se denominan renovables debido a que son un recurso inagotable respecto del ciclo de vida humana. Además presentan las características de ser abundantes y limpias. Con tecnologías maduras, las fuentes renovables de energía tienen un gran potencial para la generación de energía. Así por ejemplo, la energía hídrica que transforma directamente el agua en electricidad, ha mostrado ser de gran utilidad para la generación de energía eléctrica en lugares apartados y remotos.

Una de las aplicaciones de la energía hídrica en el sector minero es su uso en máquinas de perforación, cuya unidad de medida se expresa en kwh, valor definido como el producto de la carga (potencia que debe consumir, medida en kw) por el tiempo de trabajo (dado en horas por día).

En lugares donde el recurso hídrico es adecuado (el caudal es alto y constante) y la demanda de potencia es muy alta, la opción teniendo como fuente energética la energía hídrica, se presenta como una alternativa viable y competitiva.

El objetivo del proyecto a desarrollar más adelante es diseñar un prototipo calculando todos los aspectos que intervienen en una mini central hidroeléctrica, para esto hay que hacer una diversidad de cálculos y diseños detallados.

Realizando un estudio aplicativo de todos sus elementos, basándonos en la realización real del proyecto.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- ✓ **Estudio de mini central hidroeléctrica.**
Víctor Alejandro Pajuelo Santos.
Tesis de investigación, 67 páginas, 2007, Monzón-Perú.
- ✓ **Estudio de diseño y selección de una min central hidroeléctrica en la Hacienda la Isabela.**
Edison Fabián Amaguaya Sisa y Wilmer Mauricio Villarroel Herrera. Tesis de investigación, 199 páginas, 2009, Riobamba- Ecuador
- ✓ **Estudio de Pre-factibilidad de la Microcentral Hidroeléctrica de San Pedro de Huacos.**
Julio Andrés Cáceres Vergara
Tesis de investigación, 147 paginas, 2009, Canta-Lima-Perú
- ✓ **Estudio para el desarrollo de centrales micro hidráulicas. Aplicación a zona rural subdesarrollada.**
Jaime Castellano Galán.
Artículo de investigación, 5 paginas, 2007, Jaén – Perú.
- ✓ **FEDERICO COS**, Manual de mini y microcentral hidráulicas (5^a.ed)Perú.
Editorial Teodoro Sánchez (1995). 274 pg.
- ✓ **RONALD V, Giles**. Mecánica de fluidos e hidráulica (7^a .ed.)México. Editorial McGraw-Hill.(1970). 250 pg.
- ✓ **BEER**, Ferdinand, **JOHNSTON**, Russell y **CLAUSEN**, William. Mecánica Vectorial para ingenieros: estática. 7^a .ed. México D.F.: McGraw-Hill, 2004. 450 pg
- ✓ **R.C, Hibbeler**. Mecánica Vectorial para ingenieros: dinámica. 10^a .ed. México: Pearson educación, 2004. 456 pg

- ✓ **R.C, Hibbeler.** Mecánica de materiales. 3^a .ed. México .D.F.: Prentice -Hall Hispanoamericana , 1998. 480 pg.
- ✓ **WILFREDO JARA.** Maquinas hidráulicas. 4^a .ed. Perú.:W&H EDITORES, 1998. 178 pg.

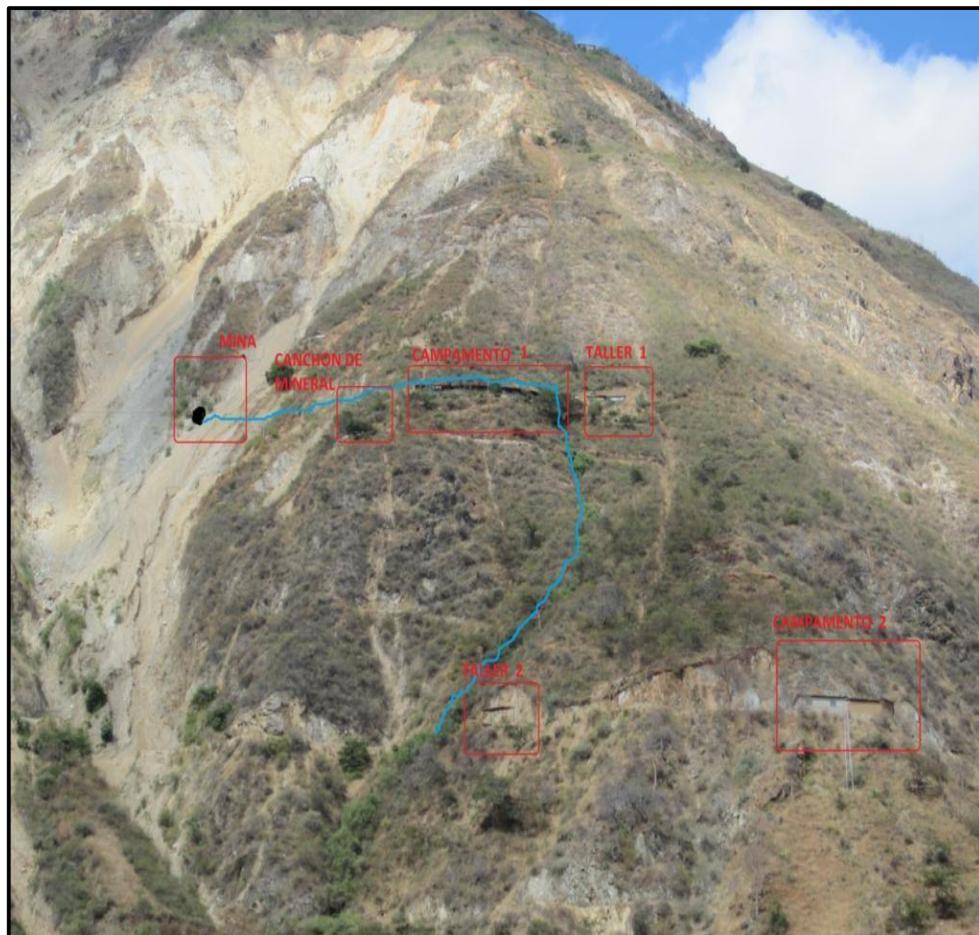
IX. ANEXOS

✓ Instrumentos

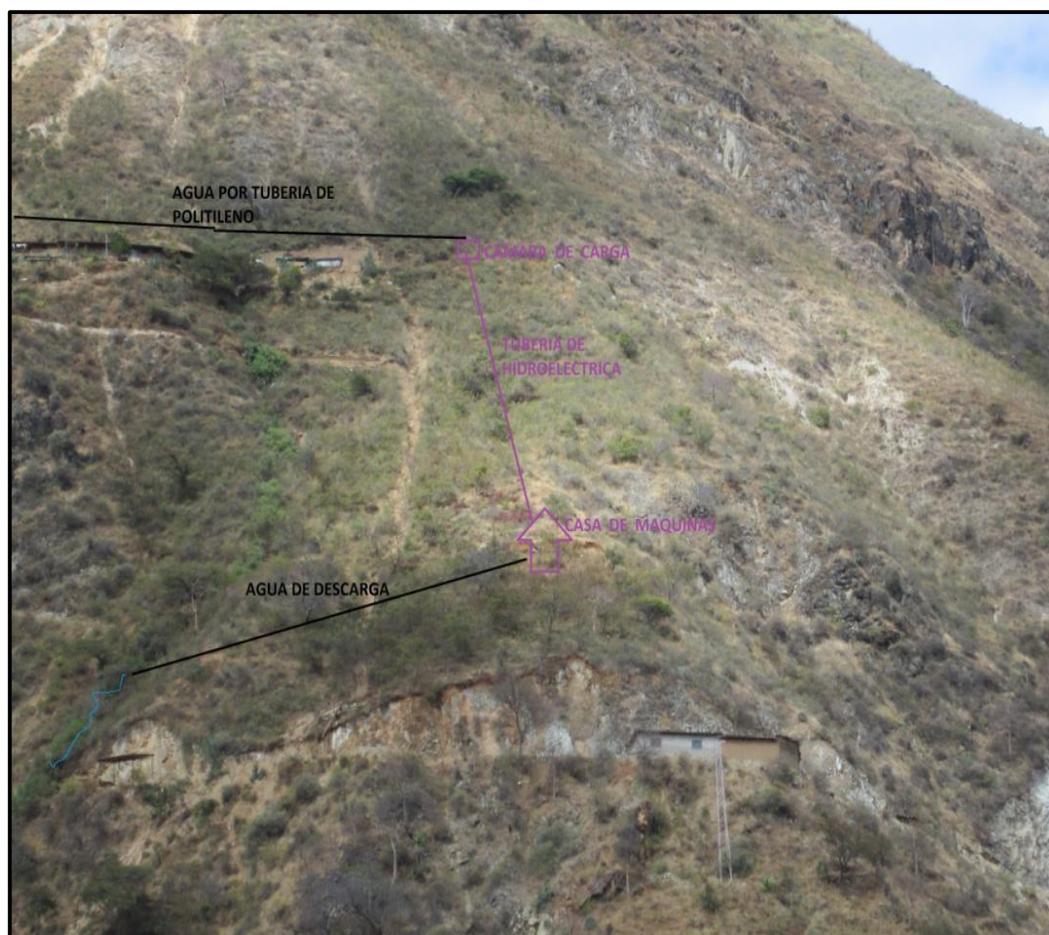
Anexo a-01:
Zona instalación de proyecto



Anexo a-02:
Reconocimiento de zona



Anexo A-03:
Instalación de hidroeléctrica



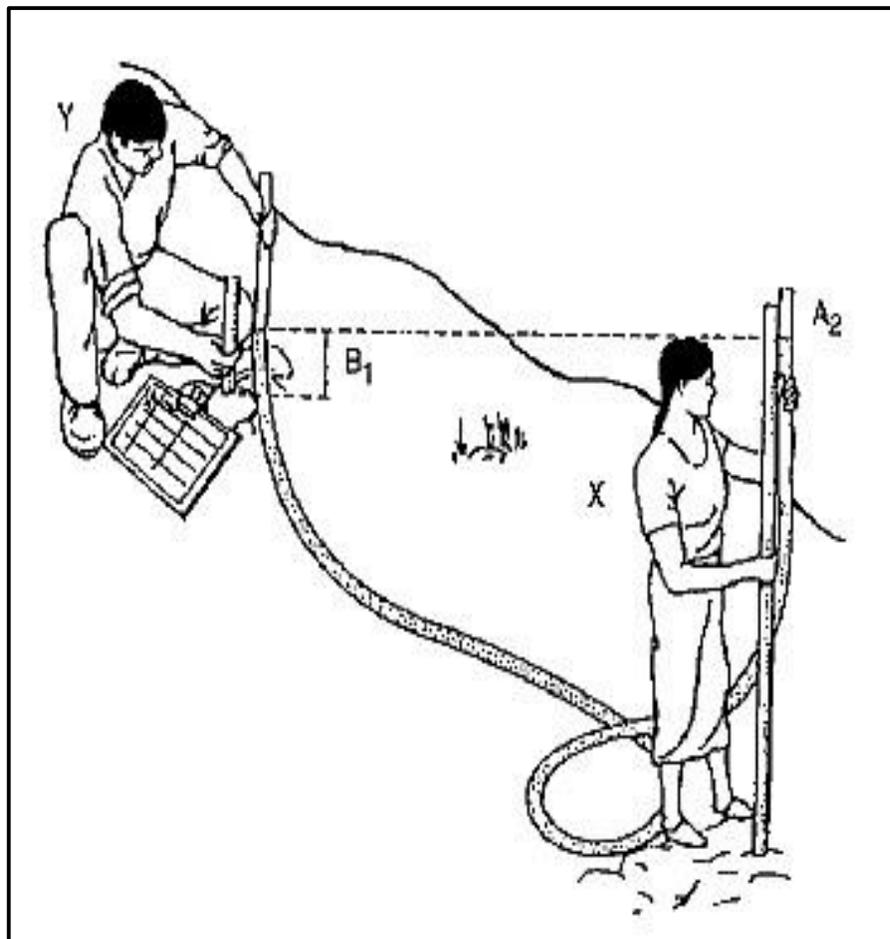
Anexo A-04:
Agua filtrada de interior mina



Anexo A-05:
Detalle de interior mina choloque

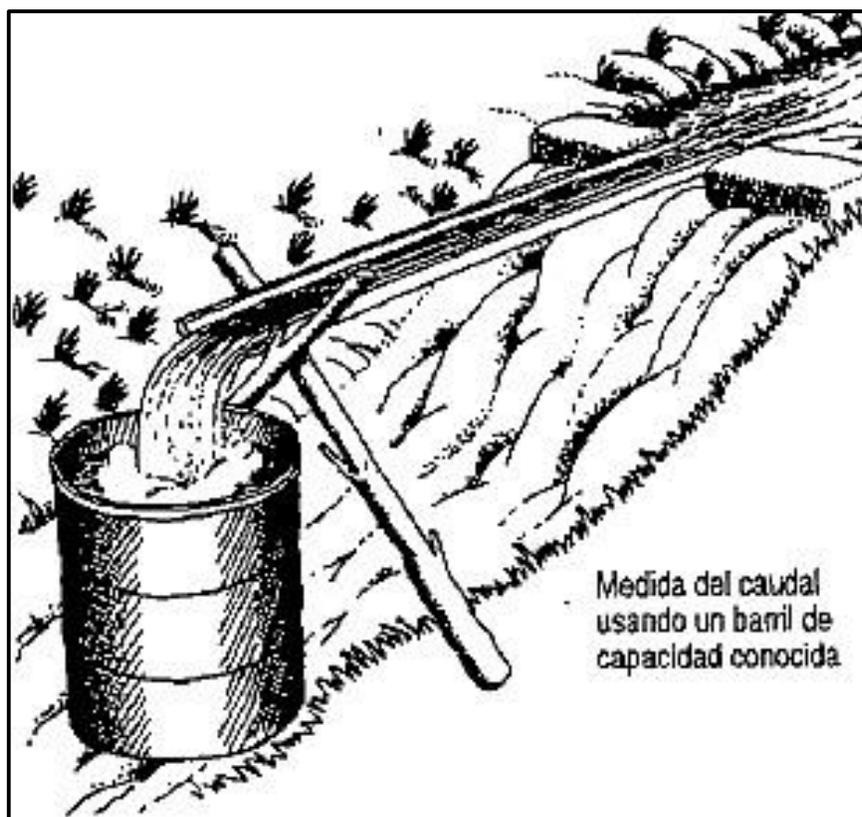


Anexo A-06:
Midiendo altura

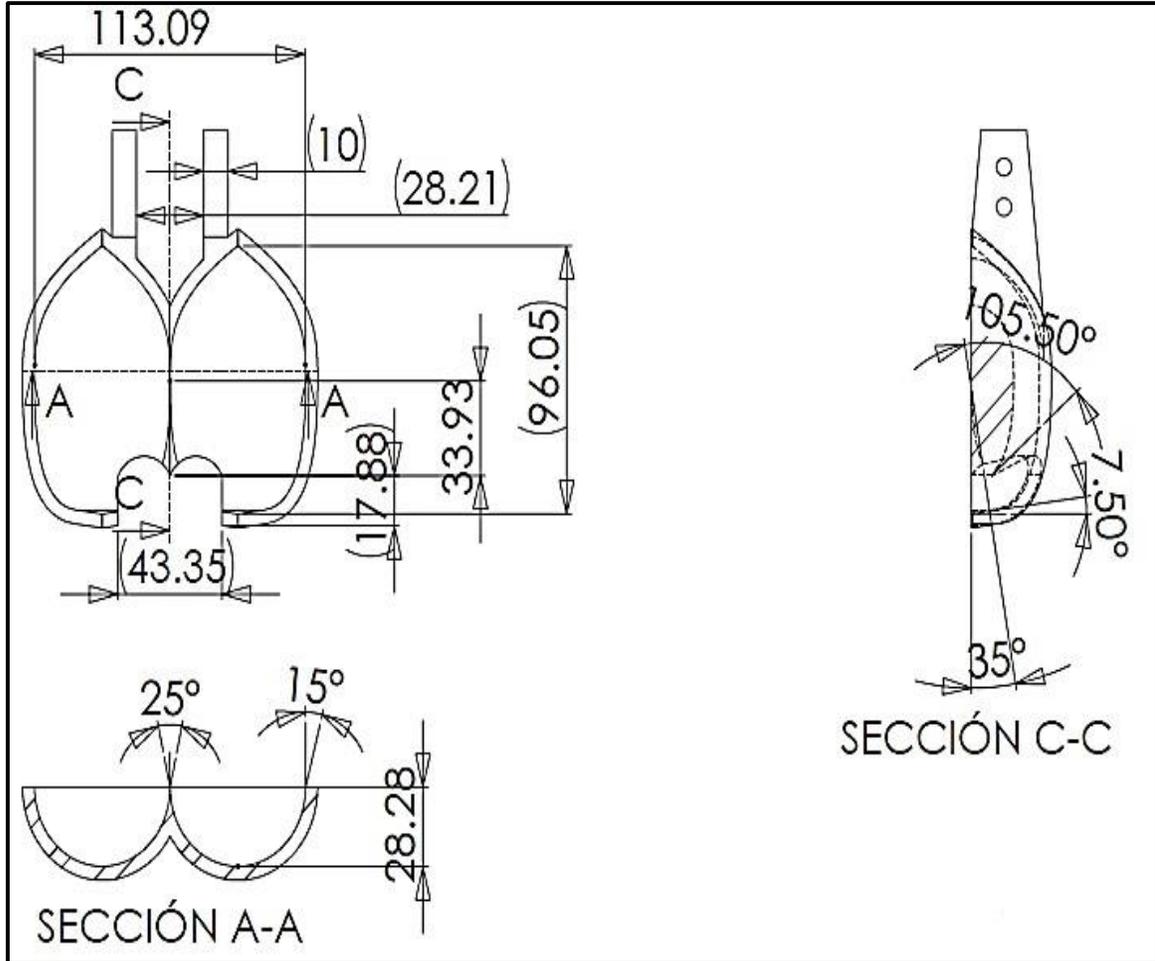


Anexo A-07:

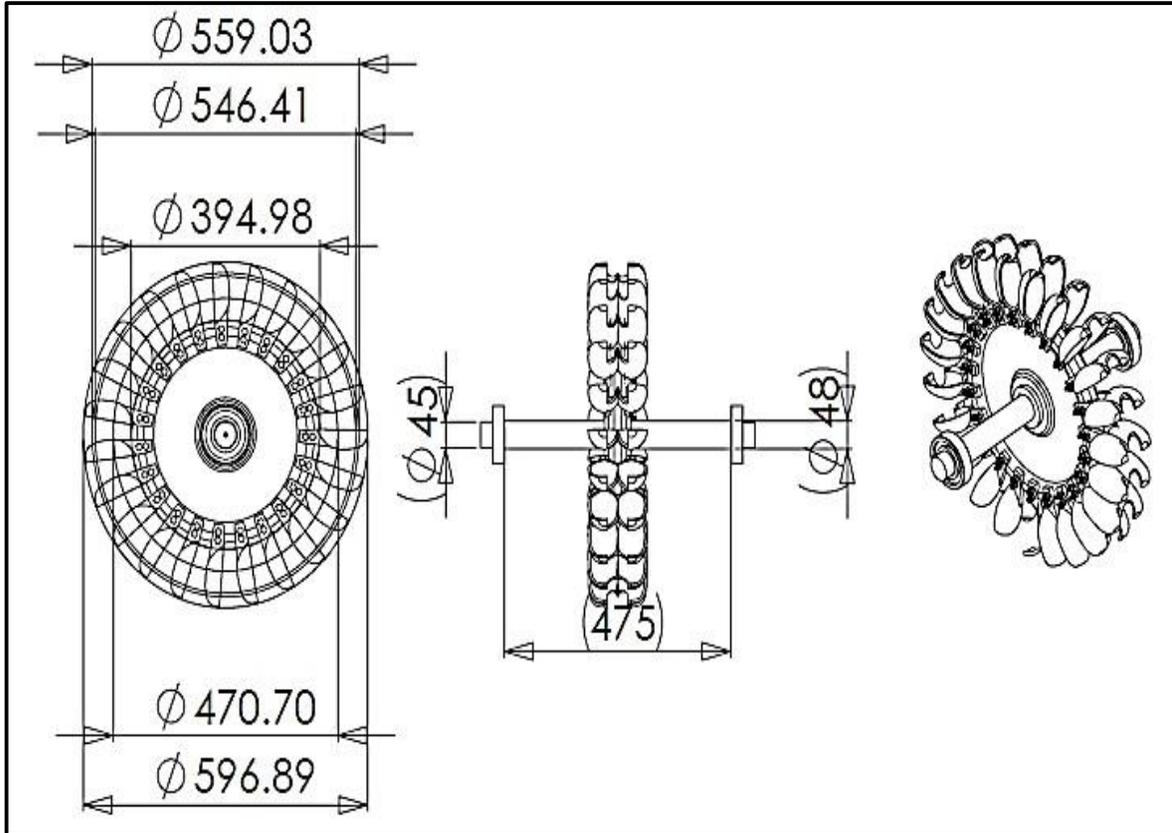
Midiendo caudal



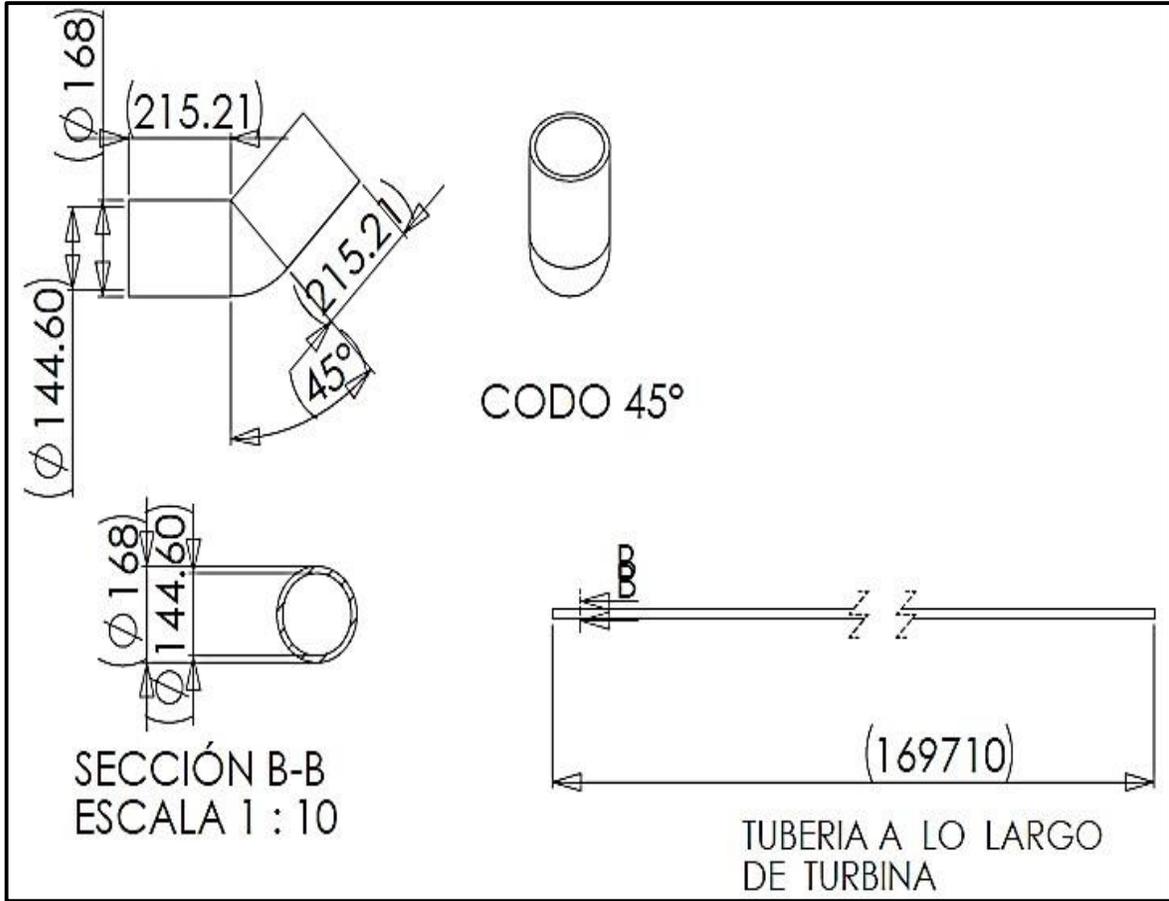
Anexo B-02:
Dimensiones de cuchara



Anexo b-03:
Dimensiones de turbina, eje y péltón

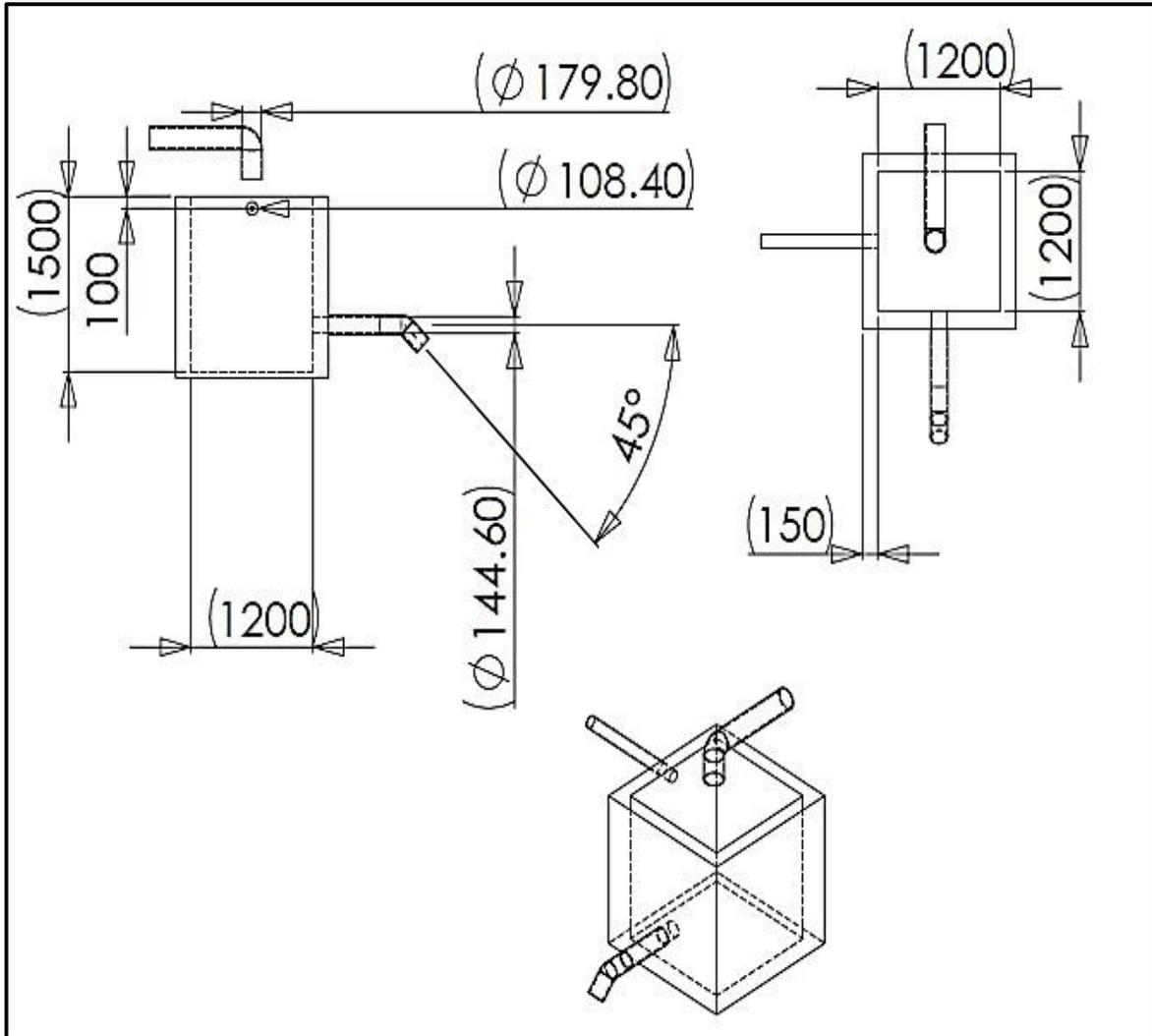


Anexo B-04:
Dimensiones del codo 45° y tubería



Anexo B-05:

Dimensiones de
cámara de
carga



Anexo B-06:

Análisis de
cucharas



Nombre del modelo: para tesis

Configuración actual: Default

Sólidos

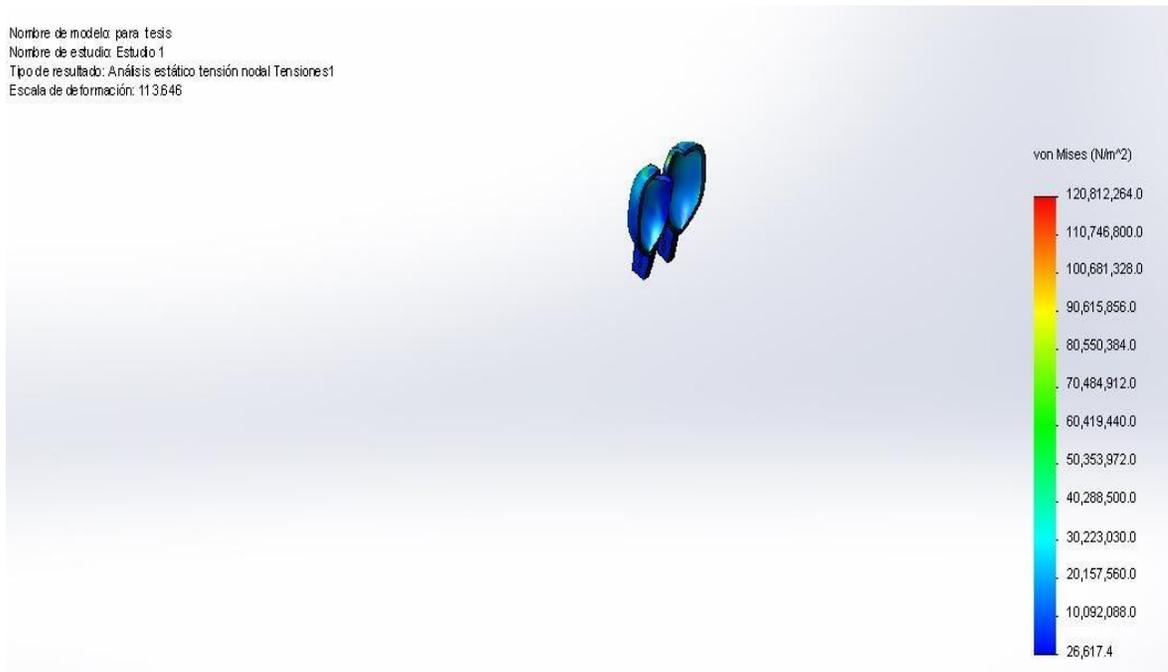
Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
<p>Cortar-Extruir9</p> 	<p>Sólido</p>	<p>Masa:0.800706 kg Volumen:0.000100089 m³ Densidad:7999.94 kg/m³ Peso:7.84692 N</p>	<p>F:\CUCHAR A.SLDPRT Nov 22 14:28:58 2013</p>

Anexo B-07:

Análisis por von mises

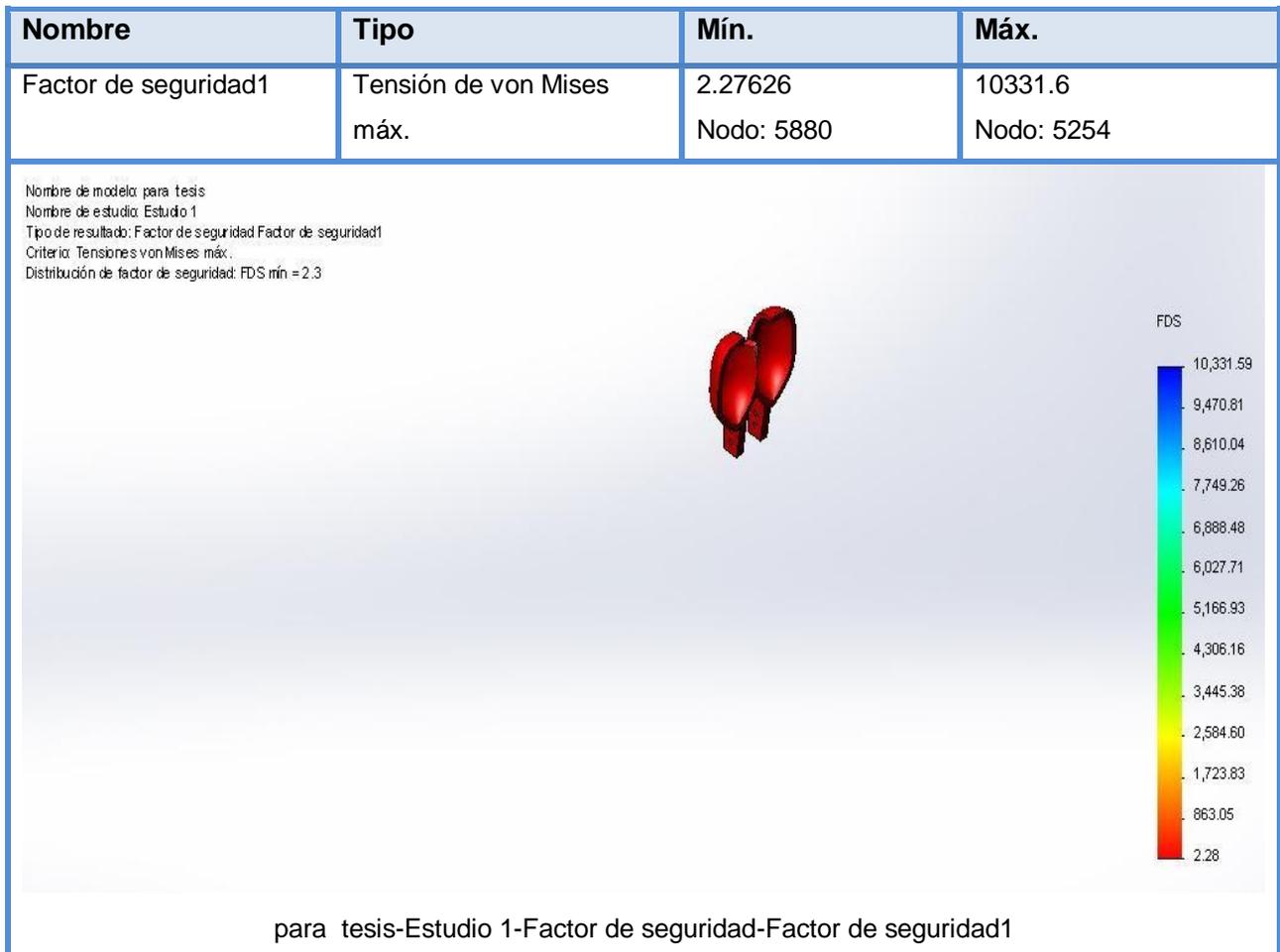
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	26617.4 N/m ² Nodo: 5254	1.20812e+008 N/m ² Nodo: 5880

Nombre de modelo: para tesis
 Nombre de estudio: Estudio 1
 Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
 Escala de deformación: 113646



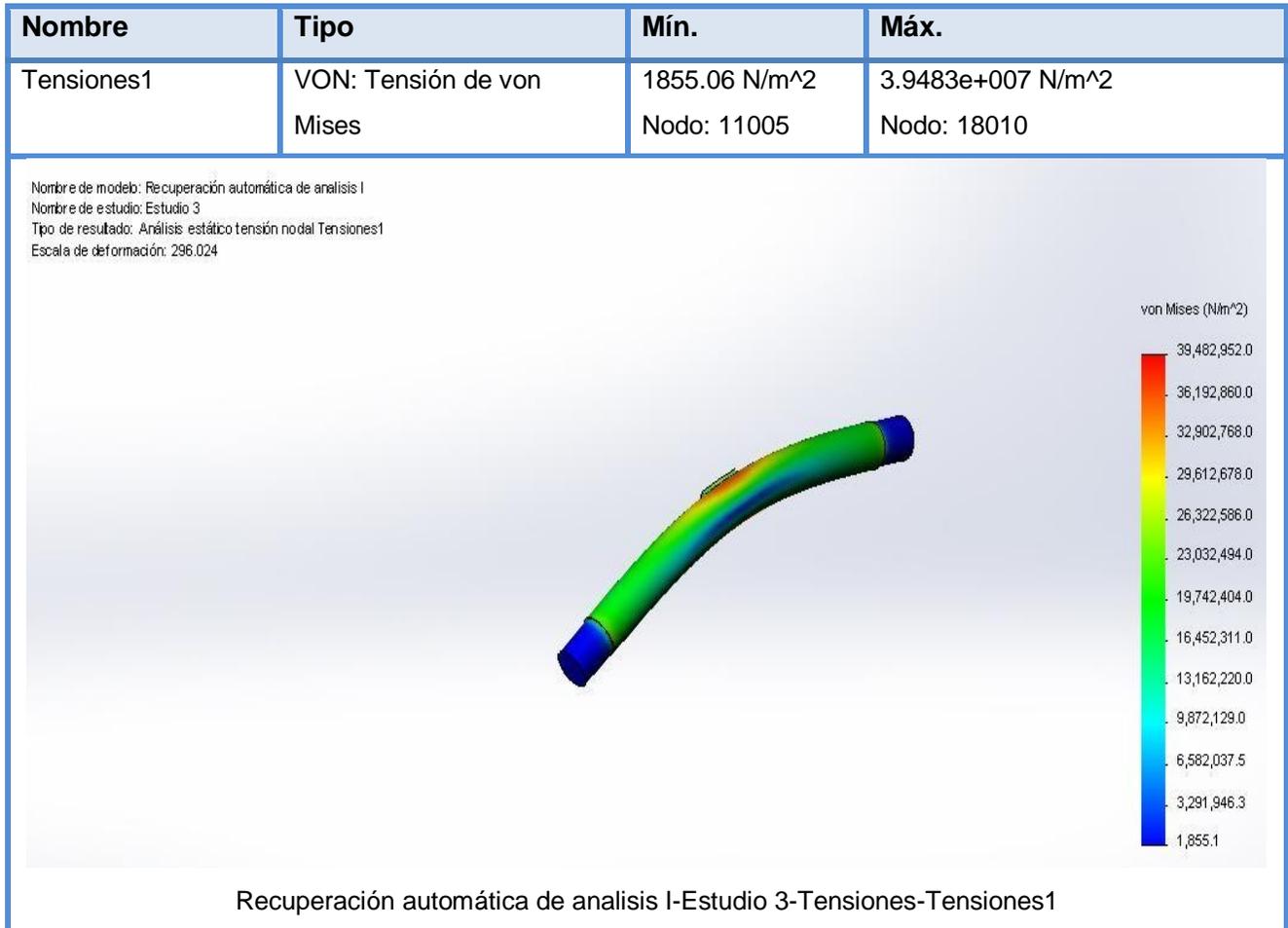
para tesis-Estudio 1-Tensiones-Tensiones1

Anexo B-08:
Factor de seguridad
cucharas



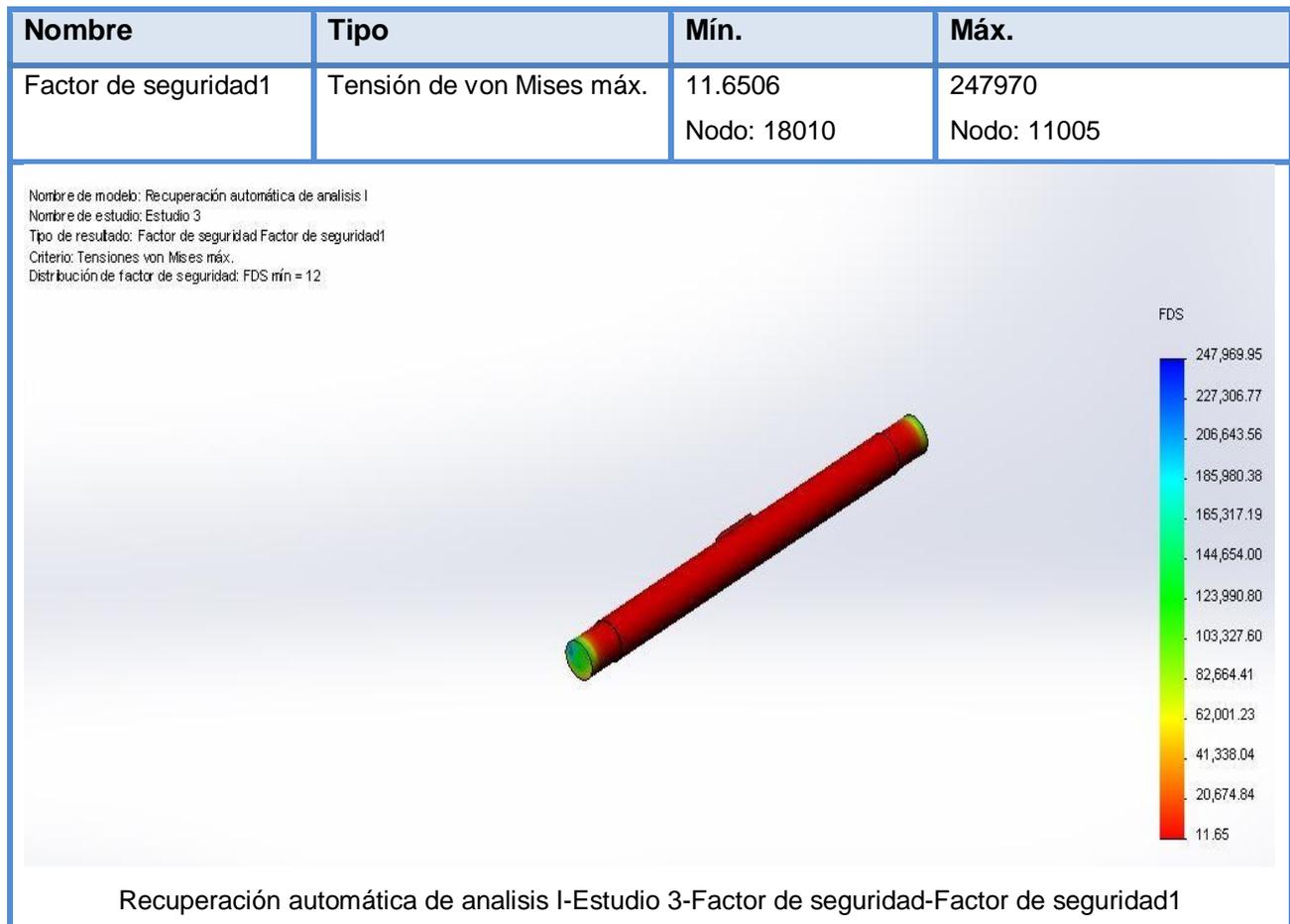
Anexo B-09:
de eje

Análisis



Anexo B-10:
de seguridad según von mises, eje

Factor



✓ Matriz de consistencia Anexo C-01:

Tubos aceros Arequipa

Tubo ASTM A53



DESIGNACIONES Y PESOS NOMINALES en kg/m			
DESIGNACIÓN	DIÁMETRO EXTERIOR (mm)	ESPESOR SCH-40 (mm)	PESO SCH-40 (Kg/m)
1/8"	10.3	1.73	0.370
1/4"	13.7	2.24	0.630
3/8"	17.1	2.31	0.840
1/2"	21.3	2.77	1.270
3/4"	26.7	2.87	1.690
1"	33.4	3.38	2.500
1 1/4"	42.2	3.56	3.390
1 1/2"	48.3	3.68	4.050
2"	60.3	3.91	5.440
2 1/2"	73.0	5.16	8.630
3"	88.9	5.49	11.290
3 1/2"	101.6	5.74	13.570
4"	114.3	6.02	16.070
5"	141.3	6.55	21.770
6"	168.3	7.11	28.260

NORMA TÉCNICA DE FABRICACIÓN:
 Según Norma ASTM A53
 Grado A: Schedule 40

DESCRIPCIÓN:
 Tubos para alta presión (SCH 40) fabricados con acero al carbono de calidad estructural, utilizando el sistema de soldadura por resistencia eléctrica por inducción de alta frecuencia longitudinal (ERW).

USOS:
 Conducción para alta presión de agua, gas, vapor, petróleo, aire presurizado y fluidos no corrosivos.

Anexo C-02:
Rendimiento de
distintos tipos
de transmisión
sugerida.

Rendimientos de distintos tipos de transmisión sugeridos. SULZER.
Fundamentos hidráulicos para instalaciones. División turbinas.
Pag53.1982

RENDIMIENTOS CARACTERÍSTICOS PARA UNA ETAPA DE LAS TRANSMISIONES	
Transmisiones dentadas	96%
Transmisiones por cadena	97.99%
Transmisiones por correa plana	95-97%
Transmisiones por correa trapezoidal	96%
Transmisiones por tornillo sin fin	75-90%

Anexo C-03:
técnicas del generador genpack

Características

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE GENERADOR GENPACK	
Potencia(kw)	45
Voltaje trifásico (v)	380
Voltaje monofásico (v)	220
Frecuencia (Hz)	60
Velocidad (RPM)	1800
Pares de polos	2
Eficiencia	98%
$\cos\phi$	0.9

Anexo C-04:
de servicio de diferentes maquinas

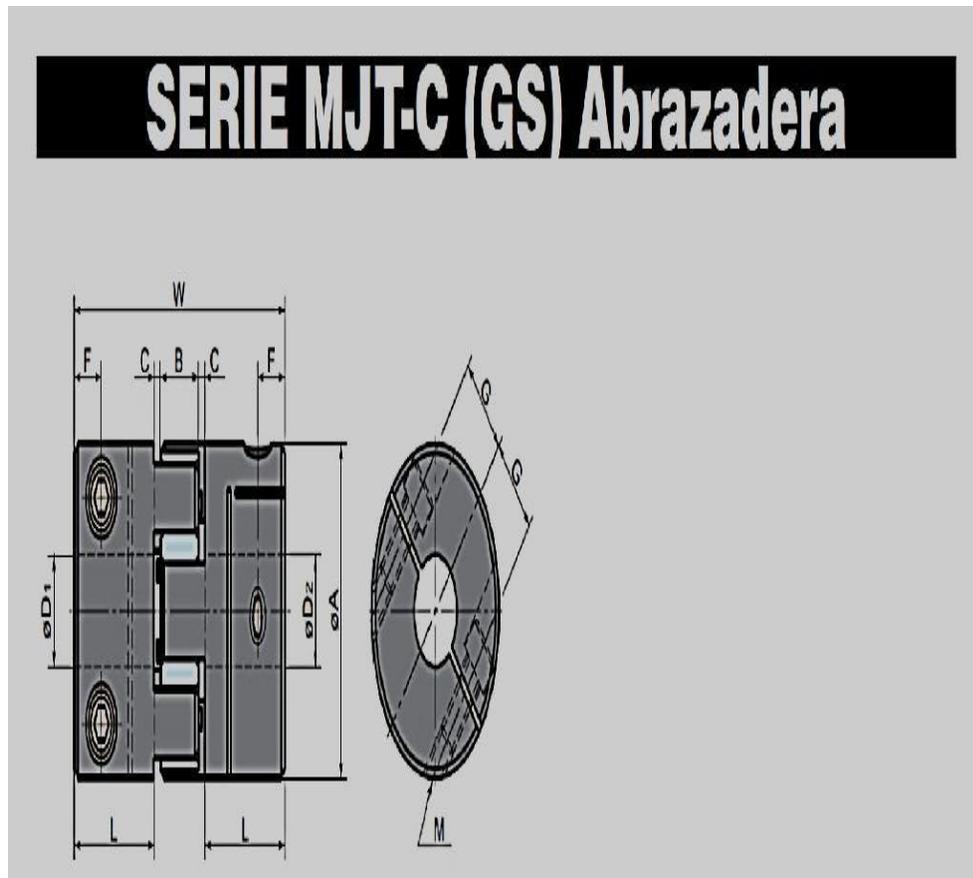
Factor

APLICACIÓN	FACTOR SERVICIO					
	3h/24h		10h/24h		24h/24h	
	Pa	Pm	Pa	Pm	Pa	PM
SOPLANTES						
Rotativos	1.15	1	1.25	1.15	1.5	1.15
De engranaje, de paletas.	1.15	1	1.25	1.15	1.5	1.25
COMPRESORES						
Centrífugos						
Rotativos	1.15	1	1.5	1.25	1.5	1.25
	1.15	1	1.5	1.25	1.75	1.25
TRITURADORES						
Piedra , mineral residuos						
TRANSFORMACIÓN DE ENERGÍA.						
Convertidores de frecuencia.		1.75		2		2.25
Generador		1.5		1.5		1.75
		1.5		1.5		1.75

Factor de servicio de diversas maquinas según W. JARA. Manual de micro central hidroeléctrica. Pg.94.1995.

Anexo C-05:
del tipo de faja

Selección



Selección del tipo de faja según F. ALVA. Elementos de máquinas.
Pg.60.1998.

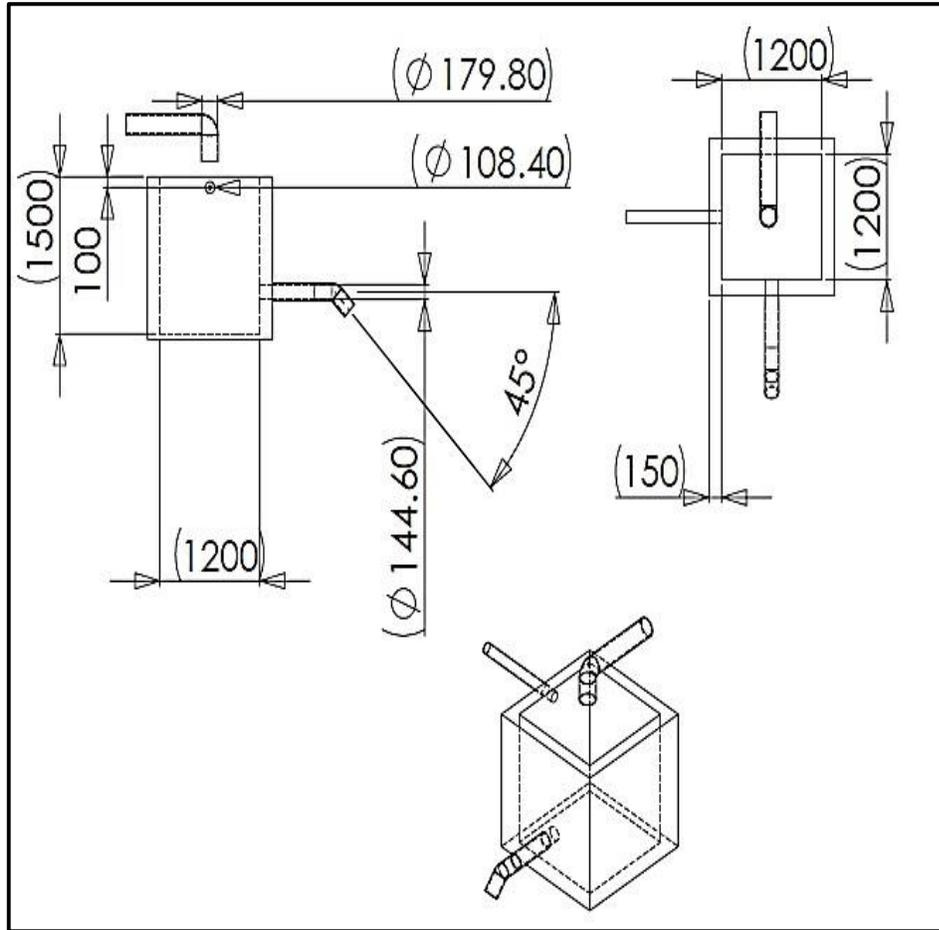
Anexo C-06:
de rodamientos

Tipo

<i>Tipo de rodamiento</i>	<i>X1</i>	<i>Y1</i>
De contacto radial	1	0
De contacto angular suave	1	1'25
De contacto angular fuerte	1	0'75
De doble fila		

Tipo de rodamientos faja según F. ALVA. Elementos de máquinas.
Pg.80.1998.

Anexo C-07:
Selección de
chumaceras,
NTN



Selección de chumaceras de la corporación NTN (for new technology network).

Anexo C-08:
Selección de chaveta

Ø Eje d (mm) desde- hasta	Medidas chaveta b x h mm	Medidas del chavetero en el cubo				Medidas del chavetero en el eje para chavetas paralelas y de cuña		Medidas de los ejes en el cubo de la rueda	
		Chaveta paralela S/DIN 6885/1		Chaveta de cuña S/DIN 6886 y 6887		t ₁ m/m	Tol. admisible (en altura) m/m	Ø m/m desde- hasta	Tol. H-7 m/m
		d + t ₂ m/m	Tol. Admisible (en altura) m/m	d + t ₂ m/m	Tol. admisible (en altura) m/m				
17-22	6x6	d+2,6	+0,1	d+2,1	+0,1	3,5	+0,2	10-18	+0,018 0
22-30	8x7	d+3,0		d+2,4		4,1			
30-38	10x8	d+3,4	+0,2	d+2,8	+0,2	4,7		30-50	+0,025 0
38-44	12x8	d+3,2		d+2,6		4,9			
44-50	14x9	d+3,6		d+2,9		5,5		50-80	+0,030 0
50-58	16x10	d+3,9		d+3,2		6,2			
58-65	18x11	d+4,3		d+3,5		6,8		80-120	+0,035 0
65-75	20x12	d+4,7		d+3,9		7,4			
75-85	22x14	d+5,6		d+4,8		8,5		120-180	+0,040 0
85-95	25x14	d+5,4		d+4,6		8,7			
95-110	28x16	d+6,2		d+5,4		9,9		180-250	+0,046 0
110-130	32x18	d+7,1		d+6,1		11,1			
130-150	36x20	d+7,9	d+6,9	12,3	+0,3	250-315		+0,052 0	
150-170	40x22	d+8,7	d+7,7	13,5					
170-200	45x25	d+9,9	d+8,9	15,3		315-400		+0,057 0	
200-230	51x28	d+11,2	d+10,1	17					
230-260	56x32	d+12,9	d+11,8	19,3		400-500		+0,063 0	
260-290	63x32	d+12,6	+0,3	d+11,5					+0,3

Selección de chaveta.

Chaveta DIN6885 paralela de acero AISI 4030

Anexo C-09:
Selección de acople NBK

Tipo	Eje Máx. (mm)	Par Nominal (N-m)	Par Máx. (N-m)	Frecuencia rotacional máx. (min ⁻¹)	Momento de inercia (kg m ²)	Dureza torsional estática (N-m/rad)	Desalineamiento paralelo (mm)	Desalineamiento angular (°)	Desalineamiento axial (mm)	Peso. (g)
MJT-14C-BL	5	0.7	1.4	45000	1.6×10 ⁻⁷	8	0.15	1.0	+0.6 0	6
MJT-20C-BL	8	1.8	3.6	31000	1.1×10 ⁻⁶	16	0.20	1.0	+0.8 0	19
MJT-30C-BL	12	4	8	21000	6.2×10 ⁻⁶	46	0.20	1.0	+1.0 0	50
MJT-40C-BL	16	4.9	9.8	15000	3.9×10 ⁻⁵	380	0.15	1.0	+1.2 0	160
MJT-55C-BL	25	17	34	11000	1.6×10 ⁻⁴	1400	0.20	1.0	+1.4 0	330
MJT-65C-BL	30	46	92	9000	3.8×10 ⁻⁴	2800	0.20	1.0	+1.5 0	560
MJT-80C-BL	42	95	190	7000	1.0×10 ⁻³	3200	0.20	1.0	+1.8 0	1200
MJT-90C-BL	48	130	260	6000	2.3×10 ⁻³	3600	0.20	1.0	+2.0 0	1900
MJT-14C-WH	5	1.2	2.4	45000	1.6×10 ⁻⁷	14	0.10	1.0	+0.6 0	6
MJT-20C-WH	8	3	6	31000	1.1×10 ⁻⁶	29	0.15	1.0	+0.8 0	19
MJT-30C-WH	12	7.5	15	21000	6.2×10 ⁻⁶	73	0.15	1.0	+1.0 0	50
MJT-40C-WH	16	10	20	15000	3.9×10 ⁻⁵	570	0.10	1.0	+1.2 0	160
MJT-55C-WH	25	35	70	11000	1.6×10 ⁻⁴	1600	0.15	1.0	+1.4 0	330
MJT-65C-WH	30	95	190	9000	3.8×10 ⁻⁴	3000	0.15	1.0	+1.5 0	560
MJT-80C-WH	42	190	380	7000	1.0×10 ⁻³	5300	0.15	1.0	+1.8 0	1200
MJT-90C-WH	48	265	530	6000	2.3×10 ⁻³	6200	0.15	1.0	+2.0 0	1900
MJT-14C-RD	5	2	4	45000	1.6×10 ⁻⁷	22	0.10	1.0	+0.6 0	6
MJT-20C-RD	8	5	10	31000	1.1×10 ⁻⁶	55	0.10	1.0	+0.8 0	19
MJT-30C-RD	12	12.5	25	21000	6.2×10 ⁻⁶	130	0.10	1.0	+1.0 0	50
MJT-40C-RD	16	17	34	15000	3.9×10 ⁻⁵	1200	0.10	1.0	+1.2 0	160
MJT-55C-RD	25	60	120	11000	1.6×10 ⁻⁴	2600	0.10	1.0	+1.4 0	330
MJT-65C-RD	30	160	320	9000	3.8×10 ⁻⁴	4900	0.10	1.0	+1.5 0	560
MJT-80C-RD	42	325	650	7000	1.0×10 ⁻³	6500	0.10	1.0	+1.8 0	1200
MJT-90C-RD	48	450	900	6000	2.3×10 ⁻³	8900	0.10	1.0	+2.0 0	1900

Selección de acople según fabricación NBK (Nabeya Bi-Tech Kaisha)