

	GESTIÓN DE RECURSOS Y SERVICIOS BIBLIOTECARIOS		Código	FO-GS-15
			VERSIÓN	02
	ESQUEMA HOJA DE RESUMEN		FECHA	03/04/2017
			PÁGINA	1 de 197
ELABORÓ	REVISÓ		APROBÓ	
Jefe División de Biblioteca	Equipo Operativo de Calidad		Líder de Calidad	

RESUMEN TRABAJO DE GRADO

AUTOR(ES):

NOMBRE(S): FABIO ANDRES APELLIDOS: GAFARO JAIMES

NOMBRE(S): JOHAN SEBASTIAN APELLIDOS: DALLOS AVELLANEDA

FACULTAD: INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERÍA MECÁNICA

DIRECTOR:

NOMBRE(S): JESUS BETHSAID APELLIDOS: PEDROZA ROJAS

TÍTULO DEL TRABAJO (TESIS): DISEÑO DE UNA MICROCENTRAL HIDROELECTRICA SOBRE LA QUEBRADA LA MONAR EN EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE ARBOLEDAS NORTE DE SANTANDER

RESUMEN

Este proyecto se basó en el diseño de una microcentral hidroeléctrica sobre la quebrada la Monar en el casco urbano del municipio de Arboledas Norte de Santander. Para ello, se implementó una investigación enmarcada en la modalidad de sistematización de conocimientos. La información se obtuvo mediante consultas en bases de datos, historiadores locales del municipio. La población y muestra correspondió al casco urbano del municipio de Arboledas Norte de Santander. Se logró elaborar el trabajo de campo del área en estudio, con el cual se pudo recopilar la información. Posteriormente, se diseñó la microcentral hidroeléctrica sobre la quebrada La Monar. Finalmente, se delimitó la capacidad de generación de la microcentral de acuerdo con los resultados obtenidos, para así determinar los costos de construcción del proyecto.

PALABRAS CLAVE: Microcentral hidroeléctrica, desarrollo sostenible, costos de construcción.

CARACTERÍSTICAS:

PÁGINAS: 197 PLANOS: ILUSTRACIONES: 43 CD ROOM: 1

Copia No Controlada

DISEÑO DE UNA MICROCENTRAL HIDROELECTRICA SOBRE LA QUEBRADA LA
MONAR EN EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE ARBOLEDAS NORTE DE
SANTANDER

FABIO ANDRES GAFARO JAIMES
JOHAN SEBASTIAN DALLOS AVELLANEDA

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA
PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA MECÁNICA
SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2021

DISEÑO DE UNA MICROCENTRAL HIDROELECTRICA SOBRE LA QUEBRADA LA
MONAR EN EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE ARBOLEDAS NORTE DE
SANTANDER

FABIO ANDRES GAFARO JAIMES
JOHAN SEBASTIAN DALLOS AVELLANEDA

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
Ingeniero Mecánico

Director:
JESUS BETHSAID PEDROZA ROJAS
Ingeniero Mecánico

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA
PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA MECÁNICA
SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2021

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE UN TRABAJO DE GRADO

FECHA: CÚCUTA, 28 DE OCTUBRE 2021
HORA: 06:00 P.m.
LUGAR: PLATAFORMA VIRTUAL GOOGLE MEET
PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERÍA MECÁNICA

TÍTULO: "DISEÑO DE UNA MICROCENTRAL HIDROELÉCTRICA SOBRE LA QUEBRADA LA MONAR EN EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE ARBOLEDAS NORTE DE SANTANDER."

Jurados: ING. PEDRO ANTONIO PÉREZ ANAYA
ING. FAUSTINO MORENO GAMBOA

Director: ING. JESÚS BETHSAID PEDROZA ROJAS

Nombre del estudiante	Código	Calificación	
		Letra	Número
FABIO ANDRÉS GAFARO JAIMES	1121393	Cuatro, Dos	4.2
JOHAN SEBASTIÁN DALLOS AVELLANEDA	1121351	Cuatro, Dos	4.2

APROBADA


ING. PEDRO ANTONIO PÉREZ ANAYA


ING. FAUSTINO MORENO GAMBOA


Vo.Bo GONZALO DE LA CRUZ ROMERO GARCÍA
Coordinador Comité Curricular
Ingeniería Mecánica



**CARTA DE AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA
LA CONSULTA, LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y LA PUBLICACIÓN
ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO**

Cúcuta,

Señores
BIBLIOTECA EDUARDO COTE LAMUS
Ciudad

Cordial saludo:

FABIO ANDRES GAFARO JAIMES, identificado(s) con la C.C. N° 1090228048, JOHAN SEBASTIAN DALLOS AVELLANEDA, identificado(s) con la C.C. N° 1090508405 autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado titulado DISEÑO DE UNA MICROCENTRAL HIDROELECTRICA SOBRE LA QUEBRADA LA MONAR EN EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE ARBOLEDAS NORTE DE SANTANDER, presentado y aprobado en el año 2021 como requisito para optar al título de ingeniero mecánico; autorizo(amos) a la biblioteca de la Universidad Francisco de Paula Santander, Eduardo Cote Lamus, para que, con fines académicos, muestre a la comunidad en general a la producción intelectual de esta institución educativa, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo de grado en la página web de la Biblioteca Eduardo Cote Lamus y en las redes de información del país y el exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad Francisco de Paula Santander.
- Permita la consulta, la reproducción, a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato CD-ROM o digital desde Internet, Intranet etc.; y en general para cualquier formato conocido o por conocer.

Lo anterior, de conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la ley 1982 y el artículo 11 de la decisión andina 351 de 1993, que establece que **“los derechos morales del trabajo son propiedad de los autores”**, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

Fabio Andrés Gafaro J.

FABIO ANDRES GAFARO JAIMES
CC 1090228048

JOHAN SEBASTIAN DALLOS AVELLANEDA
CC 1090508405

Resumen

Este proyecto se basó en el diseño de una microcentral hidroeléctrica sobre la quebrada La Monar en el casco urbano del municipio de Arboledas Norte de Santander. Para ello, se implementó una investigación enmarcada en la modalidad de sistematización de conocimientos en el se aplicaron los conceptos y teorías pertinentes al plan de estudio de Ingeniería Mecánica. La información se obtuvo mediante consultas en bases de datos, historiadores locales del municipio, asimismo se procedió a consultar texto de historiadores que en el pasado han dedicado un fragmento de su vida en contar la historia y antecedentes del municipio. La población y muestra correspondió al casco urbano del municipio de Arboledas Norte de Santander. Se logró realizar el diseño de una microcentral hidroeléctrica sobre la quebrada La Monar en el casco urbano del municipio de Arboledas Norte de Santander. Seguidamente, se elaboró el trabajo de campo del área en estudio, con el cual se pudo recopilar la información. Posteriormente, diseñó la microcentral hidroeléctrica sobre la quebrada La Monar. Finalmente, se delimitó la capacidad de generación de la microcentral de acuerdo con los resultados obtenidos para así, determinar los costos de construcción del proyecto.

Abstract

This project was based on the design of a micro hydroelectric plant on the Monar stream in the urban area of the municipality of Arboledas Norte de Santander. For this, an investigation framed in the modality of systematization of knowledge was implemented in which the pertinent concepts and theories were applied to the study plan of Mechanical Engineering. The information was obtained through consultations in databases, local historians of the municipality, also proceeded to consult the text of historians who in the past have dedicated a fragment of their life in telling the history and antecedents of the municipality. The population and sample corresponded to the urban area of the municipality of Arboledas Norte de Santander. The design of a micro hydroelectric power station was carried out on the La Monar stream in the urban area of the municipality of Arboledas Norte de Santander. Subsequently, the field work of the area under study was prepared, with which the information could be collected. Later, he designed the micro hydroelectric plant on the La Monar stream. Finally, the generation capacity of the micro-plant was delimited according to the results obtained in order to elaborate the construction costs of the project.

Contenido

	pág.
Introducción	16
1. Problema	17
1.1 Título	17
1.2 Planteamiento del Problema	17
1.3 Formulación del Problema	18
1.4 Objetivos	18
1.4.1 Objetivo general	18
1.4.2 Objetivos específicos	18
1.5 Justificación	18
1.6 Alcances y Limitaciones	20
1.6.1 Alcances	20
1.7 Limitaciones	20
1.7.1 Limitación financiera	20
1.8 Delimitaciones	21
1.8.1 Delimitación espacial	21
1.8.2 Delimitación temporal	23
2. Marco Referencial	24
2.1 Antecedentes y Estado del Arte	24
2.1.1 Antecedentes nacionales	24
2.1.2 Antecedentes regionales	25
2.1.3 Antecedentes bibliográficos	26
2.2 Marco Teórico	29

2.3 Marco Conceptual	41
2.4 Marco Contextual	45
2.5 Marco Demográfico	47
2.6 Marco Geográfico	47
2.7 Marco Económico	48
2.8 Marco Social	50
2.9 Marco Legal	51
3. Diseño Metodológico	54
3.1 Tipo de Investigación	54
3.2 Fuentes de Información	54
3.2.1 Fuentes de información primaria	54
3.2.2 Fuentes de información secundaria	54
3.3 Técnicas y Procedimientos para la Recolección de Información	54
3.4 Análisis de Información	55
4. Desarrollo del Proyecto	56
4.1 Fase 1: Reconocimiento	48
4.1.1 Visita al municipio	56
4.1.2 Presentación de la propuesta	56
4.1.3 Diagnostico	57
4.2 Fase 2: Caracterización	58
4.2.1 Solicitud de mejoras y/o adecuaciones al gobierno local	58
4.2.2 Seguimiento a mejoras solicitadas	58
4.2.3 Evaluación de obras realizadas	60
4.3 Fase 3: Estudios	60

4.3.1 Mediciones	61
4.3.2 Planteamiento del modelo.	67
4.3.3 Características de la turbina Pelton.	80
4.3.4 Evaluación.	102
4.3.5 Mantenimiento preventivo	140
4.4 Fase 4: Finalización	141
4.4.1 Definir el impacto financiero del proyecto	141
4.4.2 Socialización del proyecto	144
5. Conclusiones	146
6. Recomendaciones	147
7.Referencias Bibliográficas	149
Anexos	152

Lista de Tablas

	pág.
Tabla 1. Delimitación espacial de arboledas	21
Tabla 2. Selección de tubería	69
Tabla 3. Rango de aplicación de turbinas hidráulicas	80
Tabla 4. Proporciones de la tobera en función del diámetro del chorro	86
Tabla 5. Dimensiones de las cucharas Pelton en función del diámetro del chorro	89
Tabla 6. Numero de cucharas en función de la relación	91
Tabla 7. Angulo de talonamiento en función del número de cucharas	93
Tabla 8. Material del cuñero	116
Tabla 9. Cálculo del sistema de fijación para la polea motriz	120

Lista de Figuras

	pág.
Figura 1. Mapa Hidrográfico de Arboledas	22
Figura 2. Cuarto de Máquinas	27
Figura 3. La Planta Eléctrica	28
Figura 4. Centrales con Embalse	32
Figura 5. Polígono de la productividad del mantenimiento (análisis y diagnóstico)	39
Figura 6. Codificación	40
Figura 7. Imagen tomada de la Web	48
Figura 8. Presentación de la propuesta en la emisora	57
Figura 9. Presentación de la propuesta con el alcalde y equipo de gobierno	57
Figura 10. Recorrido del acueducto y sus puntos críticos	58
Figura 11. Supervisión en montaje de compuerta	59
Figura 12. Compuerta de captación luego del montaje	59
Figura 13. Compuerta del tanque de almacenamiento luego del montaje	60
Figura 14. Demarcación del tanque en diferentes zonas para tener noción del punto estimado desde diferentes vistas	61
Figura 15. Demarcación de la cuota límite para medir el caudal	62
Figura 16. Vista general del tanque	62
Figura 17. Vista de la compuerta auxiliar para realizar limpieza a los tanques	63
Figura 18. Vista superior del tanque de almacenamiento	64
Figura 19. Dimensión del volumen de agua que posee el tanque hasta el nivel de referencia	64
Figura 20. Historial de medidas realizadas para determinar el tiempo promedio de llenado del tanque	65

Figura 21. Estimación del tiempo promedio de llenado del tanque hasta la zona marcada	66
Figura 22. Vista lateral cota topográfica de altura	68
Figura 23. Vista isométrica del tanque de almacenamiento	68
Figura 24. Diagramas de velocidad en la cuchara de una turbina Pelton	81
Figura 25. Dimensiones del inyector de una turbina de acción tangencial	88
Figura 26. Vista frontal y vistas laterales con corte de sección	90
Figura 27. Método gráfico, mediante el cuáles puede elaborar los planos de las cucharas y del rodete de una turbina Pelton	94
Figura 28. Tramo recto de la tobera del inyector de una turbina Pelton	97
Figura 29. Vista isométrica de elementos del modelo sobre el eje	103
Figura 30. Vista frontal de los elementos que componen al eje	104
Figura 31. Diagrama de fuerzas del plano X-Y, diagrama de cuerpo libre, diagrama de momento, diagrama de cortante	105
Figura 32. Diagrama de fuerzas del plano Y-Z, diagrama de cuerpo libre, diagrama de momento, diagrama de cortante	106
Figura 33. Diagrama ortogonal de momento máximo	107
Figura 34. Diagrama de cuerpo libre para calcular la fuerza resultante	111
Figura 35. Vista isométrica del cuñero de la rueda Pelton	119
Figura 36. Vista isométrica del cuñero de la polea motriz	122
Figura 37. Codo a 60° más sistema de regulación de la tobera de la microcentral hidroeléctrica	124
Figura 38. Accesorio de distribución hacia cada tobera	124
Figura 39. Fracción de resistencia a la fatiga	130
Figura 40. Diagrama de fatiga donde se proporcionan varios criterios de falla	132

Figura 41. Nomenclatura del sujetador unido por tuerca	134
Figura 42. Eficiencia del alternador seleccionado	142
Figura 43. Sustentación del diseño de la microcentral hidroeléctrica	145

Lista de Anexos

	pág.
Anexo 1. Normativa ministerio de minas y energía	153
Anexo 2. Dimensiones tuberías de acero	156
Anexo 3. Planos topográficos	157
Anexo 4. Rugosidad de diversos materiales	159
Anexo 5. Propiedades del agua	160
Anexo 6. Longitudes equivalentes de tubería	161
Anexo 7. Alternador seleccionado	162
Anexo 8. Propiedades de masa de la rueda y la polea motriz	163
Anexo 9. Propiedades mecánicas de aceros típicos al carbono	164
Anexo 10. Rodamientos SKF	165
Anexo 11. Sistema de transmisión de potencia Habasit	174
Anexo 12. Dimensiones de roscas hexagonales	178
Anexo 13. Tamaños preferidos y números de Renard	179
Anexo 14. Diámetros y reas de roscas métricas	180
Anexo 15. Especificaciones SAE para pernos de acero	181
Anexo 16. Fichas técnicas	182
Anexo 17. Instrucciones técnicas	187
Anexo 18. Programacion anual de mantenimiento	188
Anexo 19. Planos del alternador	189
Anexo 20. Planos de la microcentral	190
Anexo 21. Simbología	194

Introducción

En la actualidad, el ser humano busca maneras de producir energías limpias, empleando diferentes alternativas, en la cual se obtengan energías libres de contaminación. Con la finalidad de mitigar el impacto que genera los altos niveles de monóxido de carbono que produce esta actividad industrial debido al uso de derivados del petróleo y del carbón.

Este proyecto se desarrolló dentro del marco social del municipio de Arboledas. También se conoció que allí sobre este acueducto, existió una planta eléctrica, la cual desapareció con la llegada de la electrificadora al municipio. Para ello, se llevó a cabo determinadas actividades tales como diagnóstico, mediciones volumétricas, caudal, como cotas topográficas de la zona de tanques, también se calculó el sistema de transmisión de potencia la cual estará conectada a la turbina. Con la energía producida, se determinó su fin, el cual fue suplir la demanda de alumbrado público, para así dar un respiro financiero al municipio. Con el diseño de la microcentral hidroeléctrica, se comprobó mediante los cálculos que el modelo planteado es viable. Con esto se dio un gran paso para la reconstrucción de la planta generadora de electricidad que poseía el municipio, que con el paso del tiempo desapareció. En este diseño se contemplaron todos los elementos que componen el circuito hidráulico, desde su captación hasta el cuarto de máquinas.

1. Problema

1.1 Título

DISEÑO DE UNA MICROCENTRAL HIDROELECTRICA SOBRE LA QUEBRADA LA MONAR EN EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE ARBOLEDAS NORTE DE SANTANDER.

1.2 Planteamiento del Problema

Arboledas es un municipio colombiano ubicado en el departamento de Norte de Santander. Está en la región central. Una gran parte del municipio (más de 11.000 hectáreas) forma parte del Páramo de Santurbán, fuente hídrica para Santander y Norte de Santander. Este municipio fue fundado en 1756. Arboledas se caracteriza por su topografía montañosa la cual es fuente de múltiples nacientes de aguas que dan origen a una considerable cantidad de quebradas, este municipio posee dos acueductos, independientes los cuales toman el recurso hídrico de la quebrada La Monar, de los cuales uno de estos en su tiempo de actividad fue empleado y adecuado para el funcionamiento una microcentral energética, hoy en día es posible observar ciertas ruinas de lo que fue esta, debido a esto nace la idea restaurar estas instalaciones del acueducto, para diseñar una nueva microcentral hidroeléctrica más moderna y eficiente. En el año de 1926 arboledas inauguro su planta de generación eléctrica la cual suministro energía al municipio hasta el año de 1969. Esta planta de generación llega a su fin en el año de 1970 junto con la llegada de centrales eléctricas al municipio, con este proyecto se busca incentivar a la autonomía en el municipio, rescatando uno de sus antecedentes más relevantes el cual fue la generación energética dando un adecuado uso a los altos recursos hídricos que este posee, todo esto se busca mediante el diseño de una nueva microcentral hidroeléctrica en el municipio de

Arboledas.

1.3 Formulación del Problema

¿Cuál es el diseño adecuado de una microcentral hidroeléctrica en la comunidad de Arboledas?

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general. Realizar el diseño de una microcentral hidroeléctrica sobre la quebrada La Monar en el casco urbano del municipio de Arboledas Norte de Santander.

1.4.2 Objetivos específicos. Los objetivos específicos se plantean a continuación:

Elaborar el trabajo de campo del área en estudio.

Recopilar la información obtenida.

Diseñar la microcentral hidroeléctrica sobre la quebrada La Monar.

Delimitar la capacidad de generación de la microcentral de acuerdo con los resultados obtenidos.

Elaborar costos de construcción del proyecto.

1.5 Justificación

Optimiza la calidad de vida de los moradores.

Valoriza económicamente los predios.

Permite generar valor en la región.

Genera empleo.

Contribuye al desarrollo sostenible.

La inversión tendrá su retribución financiera.

Uso racional de la donación del equipo al objeto del proyecto.

Contribución social del proyecto.

Este proyecto es un importante impacto social, debido a que existe un antecedente de admirar en este municipio, ya que poseía autonomía energética, lo cual despierta un interés particular en recobrar la esencia y la autonomía por la cual es reconocido este municipio. Sin olvidar la donación que se genera debido a la visita industrial a la compañía IDROFOGLIA S.R.L. en Lunano (PU) Italia, lo cual despierta el interés de su presidente el señor Severino Brugnetini en conocer el municipio y contribuir a su desarrollo, el cual decide conocer este municipio el pasado mes de enero de 2020 y con base en la propuesta presentada, este decide realizar un aporte sugerido del mecanismo de generación de electricidad, dando así uso racional a la donaciones recibidas, la realización de este no solo contribuye al desarrollo y crecimiento del municipio, también genera empleo, valoriza los predios que rondan a su alrededor, le da un toque de prestigio la cual se fundamenta en la capacidad de ser autosuficiente asimismo ya que son muy pocos los municipios del departamento que aprovechen sus recursos naturales dando paso al desarrollo sostenible, debido a los ingresos que puede generar la venta del fluido eléctrico, dándole una segunda vida a las instalaciones del antiguo acueducto que amenaza con desaparecer, esto debido a que las canales por el cual circula el preciado líquido, presentan puntos

críticos, donde se observa fugas y en algunos casos derrumbes en la canal dando lugar a la pérdida del fluido. Con la ejecución de este proyecto se le daría un acondicionamiento a este monumento que pertenece a la historia del municipio. Se busca con esto despertar el sentido de pertenencia a los estudiantes de cada municipio del cual son, en especial el estudiantado de arboledas a que se le deje una obra al municipio mediante investigaciones y estudios para el desarrollo de estos y mejorar la calidad de vida de sus habitantes.

1.6 Alcances y Limitaciones

1.6.1 Alcances. En este proyecto se diseñó una microcentral hidroeléctrica con base en el análisis, observación y diagnóstico de la captación de agua del antiguo acueducto para generar energía eléctrica sobre la quebrada La Monar en el casco urbano del municipio de Arboledas. Rescatando y dando un nuevo uso antiguo acueducto el cual hoy en día no presta servicio alguno, para así aprovechar el recurso hídrico captado por medio del mismo proveniente de la quebrada La Monar, mediante la transformación de la energía, siendo este diseño el primer paso para la restauración del acueducto también se busca rescatar el antecedente histórico por el cual es recordado este acueducto y destaca el municipio de Arboledas. Siendo este diseño el primer paso para la construcción de la microcentral hidroeléctrica.

1.7 Limitaciones

1.7.1 Limitación financiera. La falta de recursos económicos por parte de los estudiantes investigadores, esto dificultó en cuanto a búsqueda de consultorías de otras ramas de la ingeniería.

1.8 Delimitaciones

1.8.1 Delimitación espacial. Este proyecto se ejecutó en el municipio de Arboledas que pertenece al departamento de norte de Santander. En las instalaciones del antiguo acueducto donde existió anteriormente una microcentral hidroeléctrica.

Tabla 1. Delimitación espacial de Arboledas

Indicador	Valor
Altitud	946 m. s. n. m.
Extensión:	456 Km ²
Clima:	22°C
Distancia a Cúcuta:	75 Km
Coordenadas geográficas:	Longitud al oeste de Greenwich 73° 21', Latitud Norte 8° 28'

Límites:

Norte: Salazar de las Palmas, Sur: Cucutilla, Oriente: Bochalema y Durania, Occidente: Cáchira y departamento Santander.

Ríos:

Arboledas, Zulía.

El sistema hidrográfico del municipio de Arboledas, está orientado a la confluencia del río Zulía que lo atraviesa de sur a norte en su parte media.

El límite sur-este del municipio con el de Cucutilla lo forma la Quebrada Cinera que recibe las siguientes quebradas afluentes al lado de Arboledas: Cauchos, Agua blanca, Ermitaño; la Cinera desemboca en el Río Arboledas, sobre la margen derecha de éste, el cual a su vez recibe

las quebradas Media Libra, Castro y Agua Blanca, que descienden de La Cuchilla de Peñón y la quebrada Corales, con su afluente La Montaña; después de la desembocadura de ésta, el Río Arboledas cambia el nombre por el de Río Zulia, que recibe en su margen derecha y en su trayecto por el municipio de las Quebradas Monterosa, Peña Nueva, San Pablo y Santa Rita.

Las microcuencas más importantes son: Cinera, Los Molinos, Castro, Aguablanca, La Monar y Siravita.

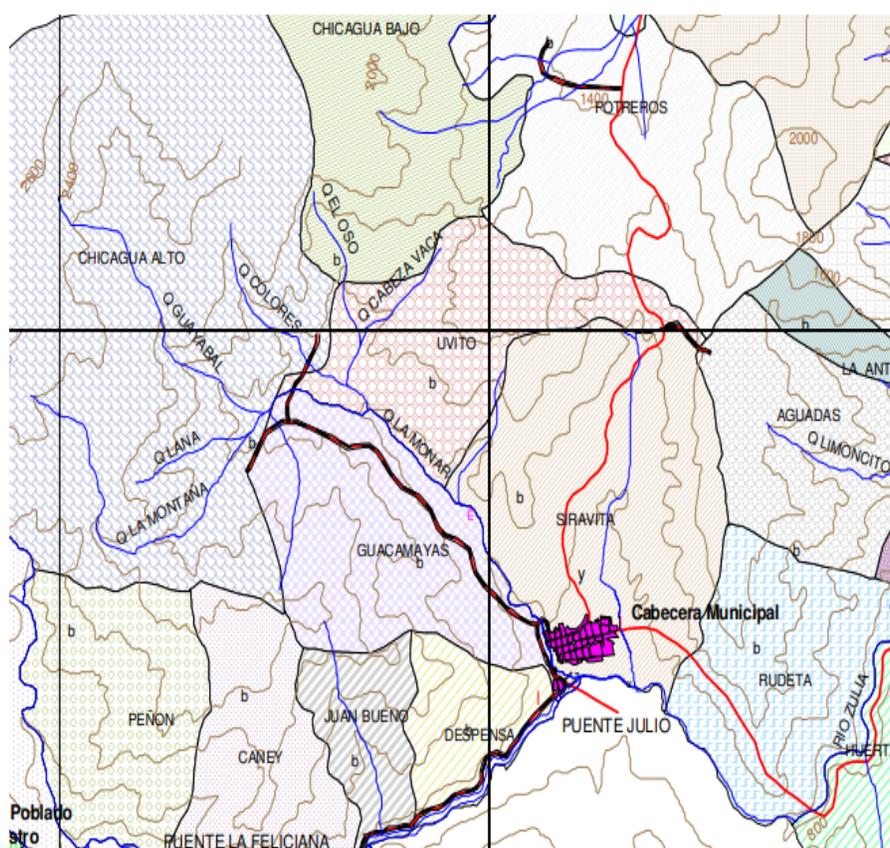


Figura 1. Mapa Hidrográfico de Arboledas

Fuente: IGAC, 2021.

En el mapa se puede observar las quebradas que conforman la quebrada la Monar, esta está compuesta por las quebradas, la montaña, lana, guayabal, colores, el oso, cabeza vaca. Asimismo,

se puede observar en color purpura la cabecera municipal del municipio de arboledas.

1.8.2 Delimitación temporal. Para la ejecución de este proyecto se requirió un tiempo aproximado de cuatro (4) meses los cuales se contaron a correr, a partir de la aprobación por parte del comité curricular del plan de estudio de ingeniería mecánica de la UFPS.

2. Marco Referencial

2.1 Antecedentes y Estado del Arte

2.1.1 Antecedentes nacionales. En Colombia hay 33 centrales hidroeléctricas como Guavio, Urrá, Salvajina, Chivor, Quimbo, ubicadas en diferentes regiones del territorio colombiano, las cuales brindan energía a los municipios aledaños. La investigación en curso, busca extraer un modelo escala de una turbina de Pelton, las cuales son utilizadas para que el caudal proveniente de los ríos siga su curso a través de éstas turbinas, que al producir que éstas realicen un movimiento giratorio y con la altura de la que proviene el agua, generará energía dependiendo del tamaño con el que se diseñó la turbina; aplicando de la misma forma los parámetros establecidos por hidroeléctricas y proyectos que presenten este tipo de turbinas, se realizará el modelo a escala que plasmará las mismas funciones de una turbina de mayor magnitud, y que se verá afectada por la altura y el caudal que manejará en el modelo a escala, ubicado en la Universidad Cooperativa de Colombia Sede Villavicencio (Forero, Moreno & Neuta, 2019).

Este proyecto hace énfasis a los modelos de generación que posee el país en general esto debido a que se cuenta ya con un número significativo de centrales de generación sin importar la escala, este proyecto resalta la elaboración de un modelo a escala para el laboratorio de hidráulica mediante un prototipo, a pequeña escala el cual simula la labor principal de la turbina Pelton.

Se presenta la metodología empleada para la construcción de un microgenerador hidráulico de 5 kW con turbina tipo Pelton. Para unas condiciones de operación (cabeza hidráulica y caudal) y a partir de una base teórico- experimental, se modelaron los componentes con ayuda de herramientas computacionales tipo CAD (Diseño asistido por computador), CAE (Ingeniería asistida por computador) y CFD (Análisis computacional fluido- dinámico). Posteriormente, se

empleó un software CAM (Manufactura asistida por computador) y procesos de fundición para la fabricación de los componentes del microgenerador. Por último, y con el fin de validar el diseño, se realizó la caracterización del microgenerador mediante pruebas en el Laboratorio del Grupo de Investigación de Energía Alternativa de la Universidad de Antioquia. A partir de las pruebas realizadas, fue posible cuantificar la eficiencia de la turbina Pelton, encontrar la relación óptima entre la apertura del inyector y la potencia generada, la velocidad óptima de operación, la eficiencia global del microgenerador y las condiciones hidráulicas en las cuales el microgenerador puede ser utilizado, brindando la mayor eficiencia de generación de energía eléctrica (Agudelo, Chica, Obando, Sierra, Velásquez & Enríquez, 2013).

Este estudio aporta la implementación de las simulaciones de software en los proyectos mediante simulaciones, estas simulaciones pueden tener alta exactitud ahorrando un considerable trabajo de campo, mediante ellas se pueden realizar simulaciones de tubería, concentraciones de esfuerzos y la transferencia de calor en el sistema deseado.

2.1.2 Antecedentes regionales. Este modelo de micro turbina ha sido instalado y puesto en funcionamiento en diferentes regiones pertenecientes a las zonas no interconectadas de nuestro país, como lo son el municipio de San Vicente del Caguán, Puerto rico, El Doncello, ubicados en el departamento del Caquetá, el cual cuenta con un amplio territorio montañoso y con abundantes fuentes hídricas que lo hacen idóneo para la aplicación de esta solución de energía alternativa y sustentable. De igual forma ha sido aplicada en varias viviendas rurales del área del Catatumbo pertenecientes a los municipios de Convención, Teorama, El tarra, el Zulia, entre otros (Bohórquez, 2018).

Este ejemplo muestra la capacidad de los estudiantes de la región para el aprovechamiento de los recursos hídricos los cuales abundan en nuestro país haciendo hincapié en nuestra región donde este preciado líquido abunda y en casos no es aprovechado, el aporte técnico que se puede obtener de este artículo es la capacidad de modelar y realizar una manufactura del mismo bajo una serie de cálculos hidráulicos y mecánicos, donde se estudia desde la fuente de captación hasta el estudio de dureza y fatiga del material.

La institución Educativa sede San Alberto N°2, ubicada a 20 kilómetros al Sur Este del casco urbano del Municipio de Toledo Norte de Santander. En consecuencia, se propone el montaje de una micro central hidroeléctrica que aproveche la energía potencial del agua, con un salto neto de 80 m y un caudal 15 L / s y mediante un equipo electromecánico transformarla en energía eléctrica suficiente para el funcionamiento de equipos de cómputo y audiovisuales, así como los electrodomésticos básicos requeridos por los estudiantes en la Institución Educativa. La estructura de la micro central consta de: bocatoma, desarenador, cámara de carga, línea de conducción del caudal, caseta de máquinas, canal de restitución del agua al arroyo, equipo electromecánico, red de baja tensión e instalación eléctrica interna de la Institución Educativa (Niño, 2016). En este artículo como se observar, despierta la necesidad de aprovechar los recursos naturales para transformar las energías, se muestra que desde una quebrada se genera electricidad para una escuela la cual carecía de un sistema eléctrico debido a su ubicación geográfica, satisfaciendo la necesidad de los niños que allí asisten.

2.1.3 Antecedentes bibliográficos. A principios de 1900 cuando el alcalde de Arboledas de la época coronel Francisco Pinto C. (†04/06/1923) tomó a su cargo la iniciación de la empresa de alumbrado eléctrico, secundado en su feliz idea por el Presbítero Luis Eduardo Villamizar (20/10/1874- †03/07/1922), comienza a abrirse las puertas de la modernidad a nuestra hermosa

tierra.

La Planta Eléctrica se inaugura en el mes de septiembre de 1926 y esta obra fue dirigida por el Dr. Julio Manuel Becerra, Ingeniero Electricista graduado en Estados Unidos e hijo ilustre de esta tierra y con un costo total de \$ 51.000. Fue una Planta Eléctrica hidráulica de corriente alterna trifásica de 24 Horse Power, con potencia de 16 Kilovatios en los generadores, la red de distribución tenía aproximadamente cinco kilómetros y prestó sus servicios hasta cuando llegó Centrales Eléctricas de Norte de Santander.

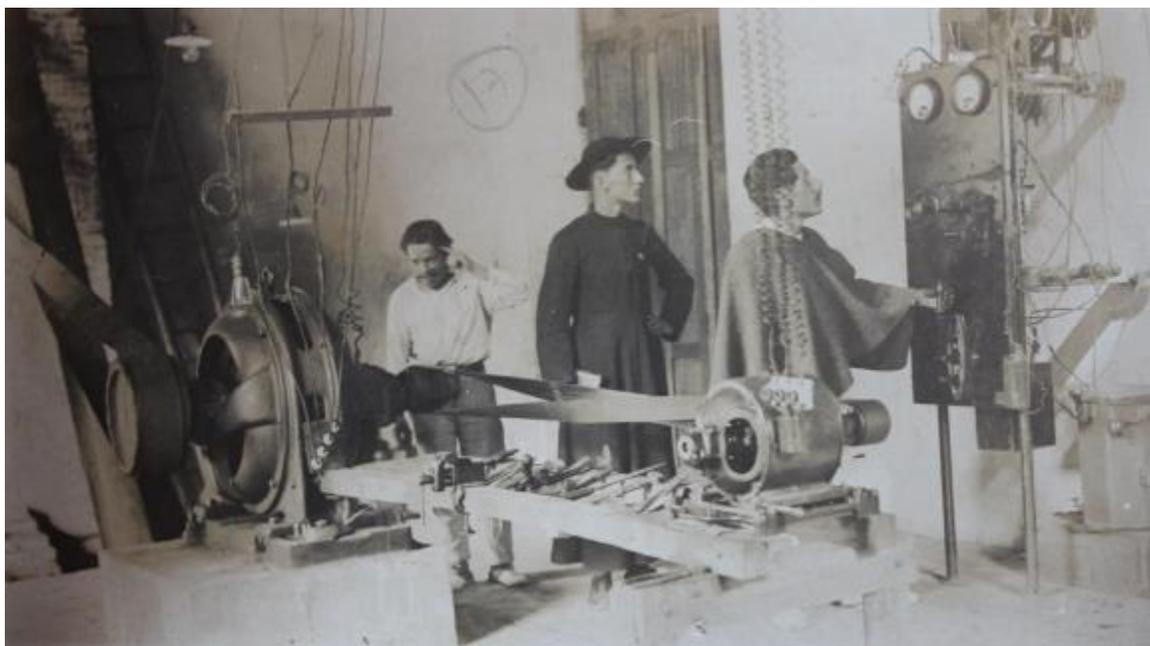


Figura 2. Cuarto de Máquinas

Fuente: Goyeneche, 2020.



Figura 3. La Planta Eléctrica

Fuente: Goyeneche, 2020.

En el año de 1955 los equipos fueron cambiados por unos más modernos traídos de Suiza, hasta ese tiempo la planta solo funcionaba de cinco de la tarde a seis de la mañana, posteriormente entro en funcionamiento continuo, habían instalados aproximadamente diez transformadores de energía y abastecía de energía hasta el caserío de Puente Julio.

La planta llega a su fin a finales del año 1969 y principios de 1970 con la llegada de las redes de la compañía Eléctrica Centrales Eléctricas del Norte de Santander, se dice que en ese tiempo el pueblo se oponía al ingreso de la joven compañía y realizaban huelgas para impedirlo, los equipos de la planta fueron vendidos por el alcalde de la época Señor Alirio Morales y así se desmanteló la generadora eléctrica.

Se dice que las redes eléctricas en un principio fueron tendidas por Villa Sucre subiendo por la vega del río hasta llegar al casco urbano, pero debido a las constantes fallas que se presentaban por las crecidas de río, decidieron trasladarlas por la zona donde actualmente llegan desde el municipio de Salazar de las Palmas, el gestor de la llegada de la electricidad por medio de redes de distribución fue un político muy influyente del corregimiento de VillaSucre llamado Marcos García Carrillo (Goyeneche, 2020).

2.2 Marco Teórico

La generación de energía a partir de una corriente de agua es la fuente de energía renovable más usada en el mundo para generar electricidad. La mayoría es producida con centrales de gran escala que utilizan presas y embalses grandes los cuales pueden almacenar una gran cantidad de agua para regular la generación. Estas centrales tienen la capacidad de generar cantidades considerables de electricidad en forma constante durante ciertos períodos, pero también causan impactos ambientales y sociales como: la obstrucción de la corriente de ríos, la inundación de áreas considerables y la reubicación de comunidades.

Los sistemas a pequeña escala, que pueden variar de unos cuantos vatios hasta 5 MW, no causan estos problemas y pueden contribuir a brindar el servicio de electricidad a zonas no-electrificadas y fortalecer la red interconectada. Estos proyectos generalmente son “a filo de agua”, o sea, que desvían temporalmente una parte del caudal de una corriente para la producción de energía hidroeléctrica.

Energía hidráulica e hidroeléctrica:

La energía hidráulica se refiere al aprovechamiento de la energía potencial que tiene el agua (por diferencia de altura) que se obtiene buscando una caída de agua desde cierta altura a un nivel inferior, la que luego se transforma en energía mecánica (rotación de un eje), con el uso de una rueda hidráulica o turbina. Esta energía se puede utilizar directamente para mover un pequeño aserradero, un molino o maquinaria de un beneficio de café. También es posible conectar la turbina a un generador eléctrico y de esta manera transformar la energía mecánica en energía eléctrica, con la ventaja de trasladar con mayor facilidad la energía a los puntos de consumo y aplicarla a una gran variedad de equipos y usos productivos. Por lo tanto, la cantidad de potencia y energía disponible en el agua de un río o una quebrada está en relación directa a la altura o caída disponible, así como de la cantidad de agua que se trasiega (caudal). Como estrategia inicial para escoger un posible aprovechamiento hidráulico se debe buscar la mayor caída o altura disponible y de esta manera usar la cantidad mínima de agua que se requiera para satisfacer las necesidades de energía y potencia (Biomass Users Network, 2002).

Características de la energía hidroeléctrica:

La superficie terrestre está cubierta en un 71% de agua. La energía hidroeléctrica proviene indirectamente de la energía del sol, responsable del ciclo hidrológico natural. La radiación que procede de las fusiones nucleares que se producen en el sol calientan la superficie terrestre, ríos, lagos y océanos, provocando la evaporación del agua. El aire caliente transporta el agua evaporada en forma de nubes y niebla a distintos puntos del planeta, donde cae nuevamente en forma de lluvia y nieve. Una parte de la energía solar permanece almacenada en el agua de los ríos, los lagos y los glaciares. Las centrales y minicentrales hidroeléctricas transforman esa

energía en electricidad, aprovechando la diferencia de desnivel existente entre dos puntos. La energía se transforma primero en energía mecánica en la turbina hidráulica, ésta activa el generador, que transforma en un segundo paso la energía mecánica en energía eléctrica. La potencia instalada no constituye el criterio básico para diferenciar una minicentral de una central hidroeléctrica convencional. Una minicentral no es una central convencional a escala reducida. Una turbina de unos cientos de kilovatios tiene un diseño completamente distinto del de otra de unos cientos de megavatios. Desde el punto de vista de obra civil, una minicentral obedece a principios completamente distintos a las grandes centrales alimentadas por enormes embalses (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2006).

Clasificación de las centrales:

Según el tipo de embalse.

Las centrales se clasifican en:

1. Centrales de agua fluyente. No tienen embalse propiamente tal. El agua o se utiliza en las turbinas o se derrama por el aliviadero de la central son las más frecuentes y entre ellas se cuentan las centrales de más potencia. Son centrales de llanura, se caracterizan por gran caudal y poca altura. La central se instala en el curso mismo del río o en un canal desviado.

2. Centrales con embalse. Estas centrales con presa, canal de derivación, aprovecha un meandro del cauce natural del río, tubería forzada (o tubería en la cual el agua se encuentra bajo presión) y central. El canal se construye con poca pendiente y gran sección transversal para disminuir las pérdidas y aprovechar al máximo la energía, que perdería en el lecho natural tortuoso del río (Mataix, 1986).

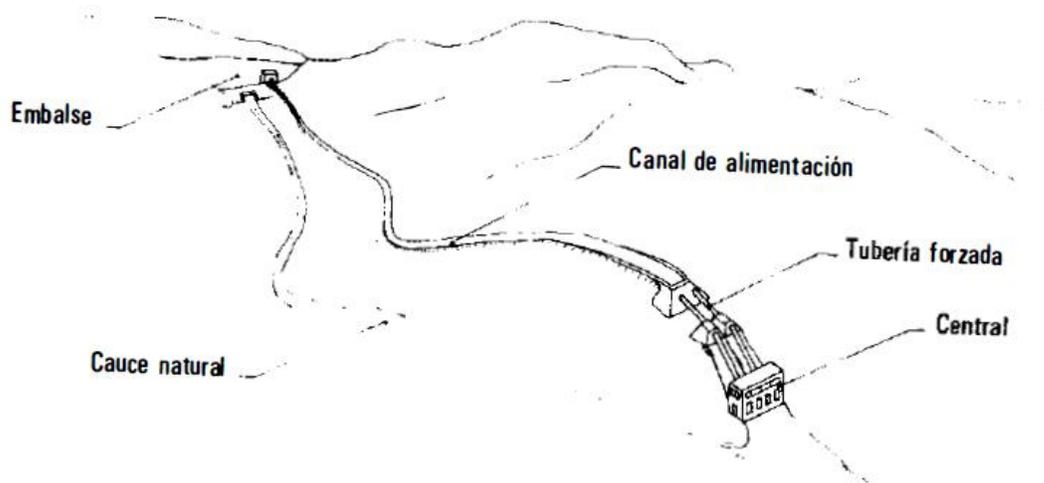


Figura 4. Centrales con Embalse

Fuente: Mataix, 1986.

Centrales de almacenamiento por bombeo. El principio básico de una central de almacenamiento por bombeo es el siguiente: en los periodos de poca demanda de energía, por ejemplo, en las horas nocturnas, se utiliza energía sobrante de la red, proveniente de otras centrales conectadas eléctricamente con la central de bombeo, para bombear agua del nivel de aguas abajo al nivel de aguas arriba.

Según la potencia:

Las centrales se clasifican en cuatro grupos, aunque evidentemente los límites de potencia que se indican son convencionales:

Microcentrales:

Potencia máxima, 99 kW.

Centrales de pequeña potencia:

Potencia de 100 a 999 kW.

Centrales de potencia media:

Potencia de 1000 a 9.999 kW.

Centrales de gran potencia:

Potencias superiores a 10.000 kW.

Según la altura de salto.

Saltos de pequeña altura.

Altura neta, $H < 14,99$ m.

Saltos de mediana altura:

15,00, $H < 49,99$ m.

Saltos de gran altura:

$H > 250$ m.

Según la economía de la explotación

Las centrales se clasifican en:

Centrales independientes:

Alimentan una red individual no conectada a otras centrales.

Centrales interconectadas:

Alimentan una red común junto con otras centrales hidráulicas térmicas, convencionales o nucleares. La tendencia moderna, como sucede en España, es crear una red única, con interconexión de todas las centrales incluso las pequeñas.

Según el lugar de instalación:

Centrales de agua fluyente.

La central intercepta el curso del río.

Centrales de pie de presa:

La central se construye al pie del embalse, la tubería forzada sale del embalse y alimenta la turbina con su tubo de aspiración y el canal de salida.

Centrales subterráneas:

Se desarrollaron grandemente en Suecia, en la última guerra mundial para protección contra los ataques aéreos; en la actualidad, gracias al desarrollo de la técnica de construcción de túneles, han adquirido un gran auge en el mundo entero y en muchos casos constituyen la solución más económica (Mataix, 1986).

La micro generación (menor a 100[kW]) por medio de turbinas hidroeléctricas, tiene un amplio campo de desarrollo en la zona centro-sur de Chile. Este tipo de generación eléctrica ayuda a diversificar la actual matriz energética y avanzar hacia a una generación a nivel país más eficiente y sustentable. Las micro centrales hidroeléctricas, además el consumo personal, permiten eventualmente la inyección y venta de potencias excedentarias a la red de distribución,

lo que incentiva al usuario a adoptar nuevas tecnologías de eficiencia energética. En este contexto, el Centro de Energía de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile. Está desarrollando el proyecto de Micro Central Hidroeléctrica Plug & Play, del cual se enmarca esta tesis.

Este trabajo de tesis tiene como objetivo general el diseño, construcción y pruebas de funcionamiento de una turbina Pelton, con todos sus elementos, tomando como base un diseño numérico de la turbina (Aris, 2014).

Este proyecto se desarrolla dentro del marco social de la factibilidad de la implementación de una Pico Central Hidroeléctrica (PCH) en la zona rural de Usme, con la captación de agua de la Quebrada Fucha, para ello se llevaron a cabo actividades como, diagnóstico y verificación de datos de caudal y altura topográfica de la zona, selección de los sistemas adecuados para generar la eficiencia correspondiente, realización de diseño y calculo tanto del sistema hidráulico como del sistema energético, comparación entre los diferentes puntos donde se ubicarían las estructuras teniendo en cuenta la implementación de nuevas tecnologías y ejecución del presupuesto total para la implementación y mantenimiento de a PCH. Para el desarrollo de estas actividades se realizaron aforos de caudal a lo largo de la quebrada y toma de puntos con GPS en la zona prevista para la instalación de las estructuras, laboratorios sobre la cantidad de sedimentos que tiene la quebrada, e incluso se realizaron encuestas a la comunidad sobre la prestación y consumo del servicio de energía eléctrica. Estas actividades se realizarán teniendo en cuenta la Ley 143 de 1994 la cual menciona que el abastecimiento de electricidad debe realizarse según los criterios económicos y de viabilidad financiera, asegurando un uso racional y eficiente de los diferentes recursos energéticos del país, también la Ley 1715 de 2014 que tiene por objeto promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de

carácter renovable.

El diseño de la PCH genera costos de talento humano de los docentes de la Universidad Libre como agente principal para el desarrollo de este trabajo y del conocimiento de los autores de este proyecto. Al ser un diseño que quedará únicamente documentado no representa costos excesivos y posteriormente puede generar la oportunidad a la universidad de construirlo e implementarlo, una posible implementación del diseño propuesto tendrá beneficios económicos, tales como: Teniendo el recurso propio del efluente agua lluvia en el tanque de almacenamiento subterráneo , la estructura para el montaje del sistema hidráulico Bloque A y el recurso humano Docentes como agente principal para el desarrollo de este proyecto, la construcción del diseño propuesto tendría un costo aproximado de \$6.363.528 debido a que el proyecto conllevaría algunas obras civiles de pequeña escala, especificadas durante el desarrollo de este trabajo y equipos de bajo costo, electrobomba, turbina , motor o generador eléctrico obteniendo el beneficio de un espacio donde los estudiantes de pregrado de Ingeniería Mecánica, Ingeniería Ambiental y Posgrado en Ingeniería con 16 énfasis en Energías Alternativas puedan realizar sus prácticas de laboratorio en áreas relacionadas con hidráulica, mecánica de fluidos y generación de energía (Solano & Bolivar, 2015).

Las energías no convencionales, como lo son las pequeñas centrales hidroeléctricas, son, probablemente, el futuro de la energía eléctrica. Si en Colombia la Ley 1715 de 2014 se reglamenta de una manera que favorezca, realmente, la generación a pequeña escala, esto cambiaría el modelo de generación actual. La generación distribuida, que se puede lograr con las fuentes de energía no convencionales, aumenta la confiabilidad del sistema y expande la capacidad de generación abriendo la posibilidad de generar energía en lugares no aprovechables por las grandes centrales hidroeléctricas. En este mercado existe un gran potencial de desarrollo

para que empresas pequeñas entren al mercado de la generación de energía sin necesidad de contar con grandes capitales, como ha sido usual en este sector. Una pequeña empresa que invierta en un proyecto de este estilo podría lograr obtener una tasa interna de retorno cercana al 17 % en condiciones conservadoras.

Lograr esta propuesta implica una democratización de la generación de energía abriendo la posibilidad de que más personas puedan realizar esta actividad beneficiando, inclusive, a comunidades que quisieran generar su propia energía y a otras que no tienen acceso a ella. El beneficio de aprovechar pequeños potenciales hidroeléctricos no se remonta solamente a lo económico también, al poder aprovechar condiciones comunes en el país, se logra aprovechar un potencial que para grandes potenciales es oculto. Es decir, es posible generar energía, con estas condiciones, en lugares que anteriormente no se habrían estudiado. Es claro que distribuir la generación de energía conlleva grandes beneficios económicos y técnicos, a esto se le suma que, al ser una fuente renovable de energía, no produce emisiones de gases de efecto invernadero, logrando, como se mencionó antes, un futuro sostenible si se aplicara masivamente. Como se ha hecho notar, la generación de energía a pequeña escala conlleva grandes beneficios económicos, sociales y ambientales. No está de más decir que se recomienda que se implemente la metodología propuesta en este trabajo, o metodologías similares, para determinar cómo aprovechar ese potencial y tomar provecho del potencial del país. Es claro que este esquema puede ayudar a un gran grupo de personas para determinar, de forma preliminar, el potencial hidroeléctrico de una zona de interés. Se espera que se desarrollen estudios posteriores con la metodología propuesta en este trabajo (Arango & Maya, 2015).

Según los estudios de Tavares (1996), en su libro de administración moderna del mantenimiento, existen los siguientes respectivos al mantenimiento, los cuales están citados a

continuación:

Análisis y diagnóstico del área de mantenimiento:

La primera etapa para la implantación de un Sistema de Información Gerencial se constituye en la investigación de las necesidades de los usuarios y en la evaluación de criterios para la recolección de datos, en función de los tipos de informes deseados. Esta etapa, identificada como Análisis y Diagnóstico del área de Mantenimiento, debe ser desarrollada con la participación de especialistas de las áreas de: Planificación, Organización y Métodos, Análisis de Sistemas y principalmente, usuarios, debiendo todos los participantes poseer la delegación del poder de decisión en sus actividades, para que el sistema desarrollado alcance el objetivo deseado. Durante esa etapa se elige el Proceso (manual o automatizado) a ser utilizado, de acuerdo con: las metas y los plazos a ser alcanzados, la confiabilidad deseada y los costos involucrados.

El Análisis y Diagnóstico, fue originalmente concebido como es presentado en la figura 5, cuando se le denominó "Polígono de Productividad del Mantenimiento" o "Radar del Mantenimiento".

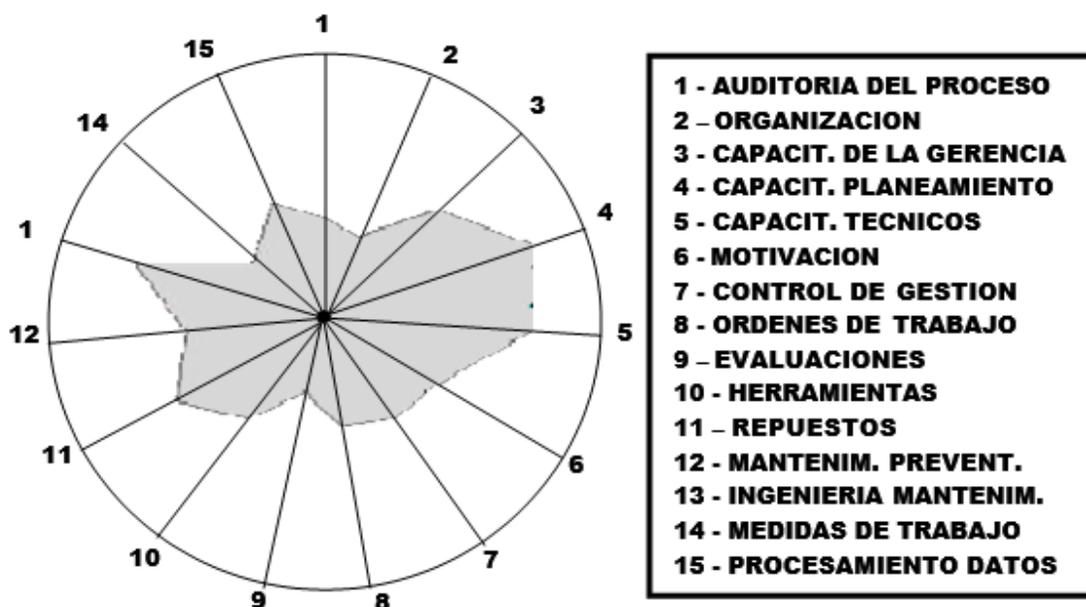


Figura 5. Polígono de la productividad del mantenimiento (análisis y diagnóstico)

Fuente: Tavares (1996).

Tablas de descodificación:

Uno de los recursos más utilizados por los actuales sistemas de gestión es el establecimiento de procedimientos de codificación, o sea, la utilización de tablas para lograr cumplir con los objetivos comunes de las diferentes áreas. Desde la concepción de los primeros sistemas de gestión surgieron campos específicos para códigos, cada uno con una finalidad específica, como la identificación de los grupos de equipos con mismas características de construcción, el equipo en el proceso productivo, los documentos asociados a los equipos etc.

Un ejemplo de codificación es el siguiente:

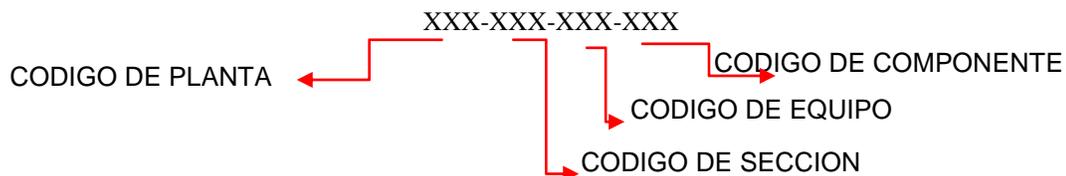


Figura 6. Codificación

Ficha técnica:

En esta se describen todas sus características, tales como fecha de adquisición, serial, codificación, componentes mecánicos, eléctricos y estructurales. Con base en esta información se enfatiza en buscar los componentes que son objeto de mantenimiento, con el fin de llevarlos a cabo mediante la programación, siguiendo un plan de mantenimiento diseñado previamente.

Orden de trabajo:

La fuente de datos relativos a las actividades desarrolladas por el personal de ejecución de mantenimiento debe incluir el tipo de actividad, su prioridad, falla o el defecto encontrado y cómo fue reparado, duración, los recursos humanos y materiales utilizados, y otros datos que permitan evaluar la eficiencia de la actuación del mantenimiento y sus implicaciones con costos y programación. Las Ordenes de Trabajo (OT) son específicas para cada empresa, en función de la actividad, organización, cantidad y tipos de mano de obra y equipos que posee etc., sin embargo, existe una serie de datos comunes en cualquier ramo industrial o de servicios, que deben estar presentes en este instrumento de información, como: el número consecutivo, el tipo de la actividad de mantenimiento, la prioridad, los registros de historial, si los instrumentos de supervisión actuaron correctamente o no, si la intervención perjudicó la producción, el período

de ni disponibilidad del equipo y la duración real del mantenimiento.

Programación anual de mantenimiento:

Esta es una ruta de mantenimiento, la cual se programa de acuerdo a los equipos de mantenimiento, esto con el fin de tener una ruta específica de instrucciones técnicas por equipo. Con el propósito que, en el momento de parar la marcha de un equipo para realizar su mantenimiento programado previamente, se pueda ejecutar sin afectar la producción.

2.3 Marco Conceptual

Caída hidráulica: El salto o caída hidráulica es la diferencia de cota entre el punto de captación del agua y las turbinas; a mayor diferencia de cota, mayor potencia hidráulica disponible.

Capacidad hidráulica: Característica física, de un cauce abierto que, en función de la superficie de la sección transversal y su rugosidad, multiplicado por la raíz cuadrada de la pendiente, da el caudal correspondiente del cauce o canal. Caudal máximo que un conducto, canal u otra estructura hidráulica es capaz de conducir. Caudal máximo que puede manejar un componente o una estructura hidráulica conservando sus condiciones normales de operación.

Caudal: Volumen de agua que pasa por una sección dada en una determinada unidad de tiempo. Las expresiones más usadas son litros por segundo, litros por minuto, metros cúbicos por hora, metros cúbicos por día. La operación comprende no solamente la medición de la velocidad del agua y el área de la sección de aforo de la corriente de agua sino también los subsiguientes cálculos necesarios.

Circuito hidráulico: Sistema que comprende un conjunto interconectado de componentes separados que transporta líquido. Este sistema se usa para controlar el flujo del fluido

Condensador: Elemento de un circuito eléctrico capaz de acumular y conservar cargas eléctricas de signos contrarios. Un condensador está formado generalmente por 2 superficies conductoras (armaduras) separadas por un aislante (dieléctrico).

Contaminación: Acción de un agente que mancha o intoxica a cualquier ambiente, haciéndolo perjudicial para la vida humana, animal o vegetal.

Corriente eléctrica: Flujo de carga eléctrica a través de un material conductor, debido al desplazamiento de los electrones que orbitan el núcleo de los átomos que componen al conductor.

Economía doméstica: La economía doméstica es un micro entorno en donde las familias ahorran, invierten, gastan, comercian y pierden. Aspectos que de una forma y otra inciden en la economía de una casa y que también influyen otros aspectos más amplios. El ahorro, las hipoteca, la Bolsa, la legislación o los propios conceptos económicos: macro y micro, que afectan directamente en el día a día.

Eje: Pieza constructiva que resulta útil a la hora de dirigir el desplazamiento de rotación de un elemento o de un grupo de piezas.

Energía cinética: Aquella que poseerá cualquier cuerpo como consecuencia de su movimiento.

Energía eléctrica: Es una fuente de energía renovable que se obtiene mediante el movimiento de cargas eléctricas (electrones positivos y negativos) que se produce en el interior de materiales conductores (por ejemplo, cables metálicos de cobre).

Energía hidráulica: Energía obtenida de las corrientes de agua.

Energía hidráulica: Es aquella que se obtiene del aprovechamiento de las energías cinéticas y potenciales de la corriente del agua, saltos de agua o mareas.

Energía potencial: Tipo de energía mecánica asociada a la posición o configuración de un objeto. Se puede decir que es la energía almacenada en el objeto debido a su posición, y que se puede transformar en energía cinética o trabajo.

Energía renovable: Es la que se obtiene de fuentes naturales, virtualmente inagotables; unas por la inmensa cantidad de energía que contienen y otras porque son capaces de regenerarse por medios naturales.

Energía: Capacidad que tiene un cuerpo para realizar un trabajo.

Energía: Es la capacidad de los cuerpos para realizar un trabajo y producir cambios en ellos mismos o en otros cuerpos. Es decir, el concepto de energía se define como la capacidad de hacer funcionar las cosas.

Generador síncrono: También conocido como alternador síncrono o sincrónico, es un tipo de máquina eléctrica rotativa capaz de transformar energía mecánica en energía eléctrica. Su velocidad de rotación se mantiene constante y tiene un vínculo rígido con la frecuencia f de la red.

Impacto Ambiental: Alteración que se produce sobre la salud y el bienestar del hombre como consecuencia de la realización de un proyecto, con respecto a la situación que existiría si el proyecto no se ejecutara.

Mantenimiento correctivo: El que corrige los defectos observados en los equipos o instalaciones, es la forma más básica de mantenimiento y consiste en localizar fallos o defectos y corregirlos o repararlos. Históricamente, es el primer concepto de mantenimiento y el único hasta la Primera Guerra Mundial, dada la simplicidad de las máquinas, equipos e instalaciones de la época.

Mantenimiento preventivo: Es la intervención de la máquina para la conservación de ella mediante la realización de una reparación que garantice su buen funcionamiento y fiabilidad, antes de una avería.

Medio Ambiente: Conjunto constituido por los agentes físicos, químicos, biológicos, visuales y sociales que constituyen el escenario donde transcurre la existencia del ser humano.

Microgeneración: Generación en pequeña escala de calor y de energía eléctrica a cargo de los prosumidores, pequeñas empresas y comunidades, a fin de satisfacer como alternativa o complemento de sus propias demandas de energías suministradas de manera tradicional.

Plan de mantenimiento: Un plan de mantenimiento es el conjunto de tareas preventivas a realizar en una instalación con el fin de cumplir unos objetivos de disponibilidad, de fiabilidad, de coste y con el objetivo final de aumentar al máximo posible la vida útil de la instalación.

Potencia eléctrica: Es la relación de paso de energía de un flujo por unidad de tiempo, es decir, la cantidad de energía entregada o absorbida por un elemento en un tiempo determinado. La potencia eléctrica se representa con la letra P y la unidad de medida es el Vatio (Watt).

Potencia: Es la cantidad de trabajo que se realiza por unidad de tiempo. Puede asociarse a la

velocidad de un cambio de energía dentro de un sistema, o al tiempo que demora la concreción de un trabajo.

Rendimiento hídrico: Cantidad de agua superficial por unidad de superficie de una cuenca, en un intervalo de tiempo dado.

Rotor: Parte móvil de una máquina rotativa en contraposición con la parte fija, llamada estator.

Sistema hidráulico: Es un mecanismo operado por la resistencia que ofrece la transmisión o la presión cuando el líquido es forzado a través de una pequeña abertura o tubo. Puede verse como una red interdependiente, cuidadosamente equilibrada. La idea básica detrás de cualquier sistema es muy simple, la fuerza que se aplica en un momento dado en un punto se transmite a otro punto en forma de fluido.

Turbina: Máquina motriz de flujo continuo que produce trabajo mecánico mediante un sistema de alabes de formas diversas empleando la energía cinética, térmica o de presión de un fluido.

Válvula: Dispositivo mecánico con el cual se puede iniciar, detener o regular la circulación (paso) de líquidos o gases mediante una pieza movable que abre, cierra u obstruye en forma parcial uno o más orificios o conductos.

2.4 Marco Contextual

Arboledas tuvo sus comienzos de vida civilizada en el año de 1574, cuando Diego de montes, cumpliendo la comisión de su jefe Alfonso Esteban Rangel, el conquistador de Salazar de Las Palmas llegó a estas breñas con su séquito de 150 subalternos suyos y extendió su tolda de

campana en medio de las 4 majestuosas montañas que circundan la «arboleda». esta la etimología de su nombre. Aquí dibujo sus planos de combate contra la aguerrida tribu de los aborígenes CHITAREROS que poblaban la comarca y obedecía órdenes al potentado y valeroso cacique Cinera de cuya raza descendemos.

En lo que respecta a la fecha precisa de la dirección municipal no nos fue posible darnos con la ley, decreto o resolución que hubiera dispuesto crear la entidad municipal, porque por mucho acierto dice uno de nuestros historiadores, que los documentos que acreditan la fundación de muchos pueblos del departamento no existen o se esconden a la actividad del historiador en archivos inviolables. Tal acontece en arboledas que su vida municipal la tiene adquirida por el principio jurídico de prescripción adquisitiva de dominio y posesión notoria del suelo, mayor de una centuria de años, datos históricos que poseía el señor José Evencio Mojica viejo ilustre de la comarca, la erección del municipio de Arboledas tuvo lugar en uno de los años de 1840 a 1845, porque es lo cierto que ya para el año de 1851 los excursionistas Manuel ancízar, Agustín Codazzi y el cronista Oviedo, cuando estos levantaban la carta geográfica de Colombia, a su paso por la tierra de « las arboledas » encontraron una humilde choza de paja que era su templo parroquial y un número de 70 feligreses; y badearon el torrentoso río arboledas sobre una hamaca de bejuco que le sirvió de puente y hasta allí fueron acompañados por el reverendo cura, un Escribano y 8 vigorosos labriegos, entre los cuales se hacía notar uno de gran cachaza y miembros recogidos, aindiado y rechoncho que era nada menos que el presidente del Cabildo de Arboledas y por ventura los demás serían sus honorables colegas. Tuvieron algunas modificaciones límites intermunicipales en sus fronteras con Bochalema y Cucutilla; pero han pasado más de 100 años que su “dios terminó” está perfectamente definido y solamente modificado el nombre de su vecino Durania (segregado de Bochalema), siendo estos sus límites

generales: por el Norte, el municipio de Salazar de Las Palmas; por el Sur, Cucutilla y Bochalema; por el Oriente, Durania; y por el Occidente, Cáchira y Suratá. Su extensión territorial mire 800 km cuadrados y dista 64 km de la ciudad capital por vía carretable. Su altura sobre el nivel del mar es de 869 metros y su temperatura media de 21° centígrados y en tiempos veranosos hasta 28° (Contreras, 2005).

2.5 Marco Demográfico

La creación de una micro generadora energética en el municipio de arboledas, norte de Santander, influye en la forma de pensar de sus habitantes, despierta la necesidad de autonomía, incita a un buen uso de los recursos naturales que allí se encuentran. Despertando el sentido de pertenencia de sus pobladores e incitando a los estudiantes de educación superior provenientes de este municipio a realizar proyectos en pro de su comunidad, de la mano con el gobierno local.

2.6 Marco Geográfico

Arboledas pertenece al departamento de norte de Santander.

Límites: Norte: Salazar de las Palmas, Sur: Cucutilla, Oriente: Bochalema y Durania, Occidente: Cáchira y departamento Santander.

Rios: Arboledas, Zulia y las quebradas: Ventanas, Bagueche, Castro, San Antonio, Sulazquilla.

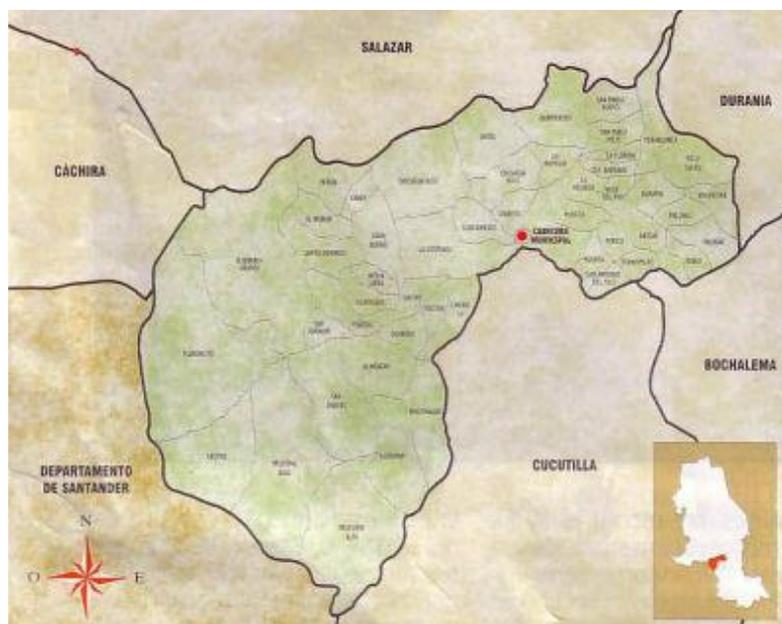


Figura 7. Imagen tomada de la Web

Fuente: Mariluz, 2008.

2.7 Marco Económico

Colombia tiene un historial de manejo fiscal y macroeconómico prudente, anclado en un régimen de metas de inflación, un tipo de cambio flexible y un marco fiscal basado en reglas, que permitió que la economía creciera ininterrumpidamente desde 2000. Además, Colombia redujo la pobreza a la mitad durante los últimos diez años. Sin embargo, el crecimiento de la productividad es bajo y ha sido un obstáculo para el crecimiento económico. Una gran brecha de infraestructura, baja productividad laboral e integración comercial, y barreras a la competencia doméstica son algunos de los factores que limitan el crecimiento de la productividad total de los factores. Las exportaciones están altamente concentradas en materias primas no renovables (petróleo en particular), lo que aumenta la exposición de la economía a los choques de precios. Además, Colombia es uno de los países de América Latina con mayor desigualdad en ingresos e informalidad del mercado laboral. Después de desacelerarse al 1,4% en 2017, el crecimiento

económico se incrementó hasta 3,3% en 2019, impulsado por un sólido consumo privado y una mayor inversión. El crecimiento estaba en camino a acelerarse aún más en 2020, pero la pandemia de COVID-19 golpeó significativamente la economía y provocó una recesión muy profunda.

El Gobierno respondió rápidamente a la crisis y tomó medidas decididas para proteger vidas y medios de subsistencia, y para apoyar la economía. En el frente fiscal, el Gobierno anunció un importante paquete fiscal para 2020 por un total de más de COP 31 billones (o casi el 3% del PIB de 2019), con el cual se proporcionaron recursos adicionales para el sistema de salud, se incrementaron las transferencias para los grupos vulnerables a través de la expansión de los programas existentes y el establecimiento de nuevos programas (Ingreso solidario, un programa de transferencias monetarias no condicionadas, y devolución de IVA para segmentos de la población de bajos ingresos), se retrasó el recaudo de impuestos en sectores seleccionados, se redujeron aranceles para las importaciones estratégicas en salud y se ayudaron a las empresas más afectadas a pagar la nómina de los empleados. El gobierno también estableció líneas especiales de crédito y garantías de préstamos para empresas en sectores específicos o que se vieron afectadas por la crisis, por un total potencial de 72 billones (o el 6,8% del PIB de 2019). Para asegurar un apoyo fiscal adecuado, se activó la cláusula de suspensión de la regla fiscal para 2020 y 2021.

En el frente monetario, el banco central recortó su tasa de intervención en 250 puntos básicos entre marzo y septiembre y la redujo a su nivel histórico más bajo. Al mismo tiempo, introdujo una amplia gama de medidas para aumentar la liquidez. Se prevé que estas medidas mitiguen el impacto en la economía del COVID-19. Sin embargo, se proyecta que la economía se contraiga un 7,2% en 2020 y se estima un repunte del crecimiento para 2021-2022, siempre que la

pandemia sea de corta duración. Se espera que el entorno de bajas tasas de interés, facilitado por el banco central, impulse el crecimiento del consumo privado sujeto a como se suavicen las medidas de contención del COVID-19. También se espera que las bajas tasas de interés faciliten un repunte gradual de la inversión a medida que se reanuden importantes proyectos de infraestructura como las carreteras 4G y los proyectos del metro de Bogotá. Se espera que la inflación caiga hacia el límite inferior del rango establecido como objetivo por el banco central, ya que las presiones inflacionarias de la depreciación cambiaria se verán atenuadas por la débil demanda.

Se estima que los bajos precios del petróleo y las reducciones en la demanda global compensen la caída de las importaciones generada por la caída de la demanda doméstica. Por su parte, se espera que las fuertes entradas de remesas y los dividendos más bajos para los inversionistas extranjeros directos hagan que el déficit en cuenta corriente mejore ligeramente, desde el 4.2% del PIB en 2019 al 4,1% del PIB en 2020. También se estima que la normalización de los flujos comerciales y una mejora en el pago de dividendos a los inversores extranjeros directos provoquen un repunte del déficit en cuenta corriente en 2021, hasta que este se estabilice en 4,2% del PIB en 2022.

Más allá del mediano plazo, las perspectivas dependen de la duración y gravedad de la crisis, la forma y la velocidad en la que se reducirá el déficit fiscal y la capacidad del país para abordar los cuellos de botella estructurales existentes (Banco Mundial, 2020).

2.8 Marco Social

Arboledas es un municipio ubicado en el departamento de Santander, enclaustrado en la cordillera orientas perteneciente a los pueblos de occidente. Este municipio posee diversas

actividades económicas, entre ellas se encuentran centros atractivos y naturales que aportan al ecoturismo que allí se lleva a cabo, este posee una gran biodiversidad y presencia de diferentes especies en fauna y flora que hacen más increíble el paisaje, sin olvidar su alta competitividad en cuanto a la producción de café, también sus fuertes son la ganadería, la producción de leche, las minas de carbón mineral y piedra caliza, sin olvidar que este municipio es, zona panelera debido a la gran cantidad de cultivos de caña de azúcar que siembran sus campesinos.

2.9 Marco Legal

Resolución CREG 030 del 2018. Mediante el ejercicio ciudadano se solicitó por medio del derecho de petición los estudiantes consultaron al ministerio de minas y energía los lineamientos legales para proyectos de microgeneración, con numero de radicado 1-2020-047700 ver anexo 1, manifiesta lo siguiente:

Para proyectos pequeños aplica esta resolución en su artículo 1 expresa: mediante esta resolución se regulan aspectos operativos y comerciales para permitir la integración de la autogeneración y de la generación distribuida al sistema interconectado nacional SIN, este comunicado es en enviado por parte del ministerio de minas y energía mediante de derecho de petición realizado por los investigadores para obtener información acerca de lineamientos legales de proyectos de microgeneración.

Política nacional de cambio climático – PNCC. La Política Nacional de Cambio Climático inició su formulación en el año 2014 y desde entonces se propuso articular todos los esfuerzos que el país viene desarrollando desde hace varios años, y principalmente desde el 2011, a través de la Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono –ECDBC-, el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático –PNACC-, y la Estrategia Nacional REDD+, entre otras

iniciativas, y adiciona elementos novedosos para orientar estratégicamente todos los esfuerzos hacia el cumplimiento del compromiso adquirido en el marco del Acuerdo de París.

Sus cinco líneas estratégicas se basan en la Nueva Economía del Clima que fue un ejercicio de referencia mundial en el que participó Colombia junto a otros seis países. Para su definición se consideró que las ciudades son motores de crecimiento económico y generan alrededor del 80% de la producción económica mundial y cerca del 70% del uso mundial de energía y de las emisiones de GEI relacionadas con la energía.

En materia de desarrollo rural, la productividad en el uso de la tierra determinará si el mundo es capaz de alimentar a una población.

Los sistemas de energía alimentan el crecimiento en todo el mundo.

La infraestructura respalda el crecimiento económico moderno.

Para el caso de los ecosistemas es clave atender los cambios en el uso del suelo, así como gestionar ecosistemas estratégicos como los páramos y reducir la deforestación y la degradación. Además de las líneas estratégicas, la Política soporta el desarrollo de estas en cuatro líneas instrumentales: Planificación de la Gestión del Cambio Climático; Información, ciencia, tecnología e innovación; Educación, y Financiación e instrumentos Económicos.

En términos institucionales, la PNCC aprovecha el Sistema Nacional de Cambio Climático, SISCLIMA, creado por el Decreto 298 de 2016, y que relaciona y busca articular el nivel nacional con los niveles regionales y locales responsables o involucrados dentro de la gestión del cambio climático.

El reto fundamental en adelante es continuar con la implementación de la Política, desarrollando los acuerdos construidos, atendiendo las realidades de un país que cambiará en muchos aspectos y que nos exige estar a la altura de sus nuevos desafíos (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2020).

3. Diseño Metodológico

3.1 Tipo de Investigación

El proyecto de acuerdo con el estatuto estudiantil de la UFPS se enmarco en la modalidad de sistematización de conocimientos. En este proyecto se aplicaron los conceptos y teorías pertinentes al plan de estudio de Ingeniería Mecánica de la UFPS, y en la cual se dio solución a un problema y al mismo se aportó al desarrollo de la región.

3.2 Fuentes de Información

3.2.1 Fuentes de información primaria. El trabajo de campo se basó en un reconocimiento físico a las instalaciones del municipio, principalmente a su antiguo acueducto, con el fin de conocer su historia, familiarizar y entrar en contexto de la magnitud del proyecto deseado mediante historiadores locales y el equipo de la administración local, con el cual se realizó un óptimo empalme.

3.2.2 Fuentes de información secundaria. Las fuentes de recolección de datos empleadas para esta investigación fueron banco de datos digitales como Google académico, base de datos de la Universidad Francisco de Paula Santander, asimismo como la biblioteca de la universidad con los textos que allí se encontraron.

3.3 Técnicas y Procedimientos para la Recolección de Información

La información se obtuvo mediante consultas en bases de datos, historiadores locales del municipio, asimismo se procedió a consultar texto de historiadores que en el pasado han dedicado un fragmento de su vida en contar la historia y antecedentes del municipio.

3.4 Análisis de Información

El resultado de estudios se presentó mediante informes escritos presentados como archivos mediante Google Drive en los cuales se dejará su respectivo link, asimismo se empleó la estadística para representar datos e indicadores obtenidos acerca de estudios realizados.

4. Desarrollo del Proyecto

Este proyecto consta de cuatro objetivos específicos, estos están dividido en fases, las cuales fueron diferidas a 16 semanas, en estas se llevaron ciertas actividades descritas en el anteproyecto con el fin de dar óptimo cumplimiento a los objetivos allí planteados.

4.1 Fase 1: Reconocimiento

Elaboración del trabajo de campo, en el área de estudio.

La ruta de trabajo para la ejecución del proyecto microcentral hidroeléctrica sobre la quebrada La Monar en el casco urbano del municipio de Arboledas, Norte de Santander, esta consta de cuatro fases en las cuales están regidas según los objetivos específicos, a partir de ellos surgen actividades por ejecutar.

4.1.1 Visita al municipio. Esta actividad consto de viajar al municipio, donde se conocieron sus instalaciones, tanto del municipio como las del acueducto. Se realizó el recorrido desde la bocatoma de captación de agua hasta la planta de tratamiento.

4.1.2 Presentación de la propuesta. La propuesta fue presentada al alcalde de Arboleda y a la población en general, a través de la emisora comunitaria “Arboledas estéreo 105.2 FM”, en el programa institucional de la alcaldía, que es emitido todos los viernes a las 7 pm.



Figura 8. Presentación de la propuesta en la emisora



Figura 9. Presentación de la propuesta con el alcalde y equipo de gobierno

Recopilación de la información obtenida:

4.1.3 Diagnostico. Se realizó el diagnóstico del antiguo acueducto. El informe fue presentado a la unidad de servicio público del gobierno local, en él se plasmaron las condiciones en la cual se encontraba actualmente el acueducto, y se hizo énfasis en las falencias detectadas.

<https://drive.google.com/drive/folders/1oUXxOQNjjK1Ex8bobj7BzpqzOu1RxEqw?usp=sharing>

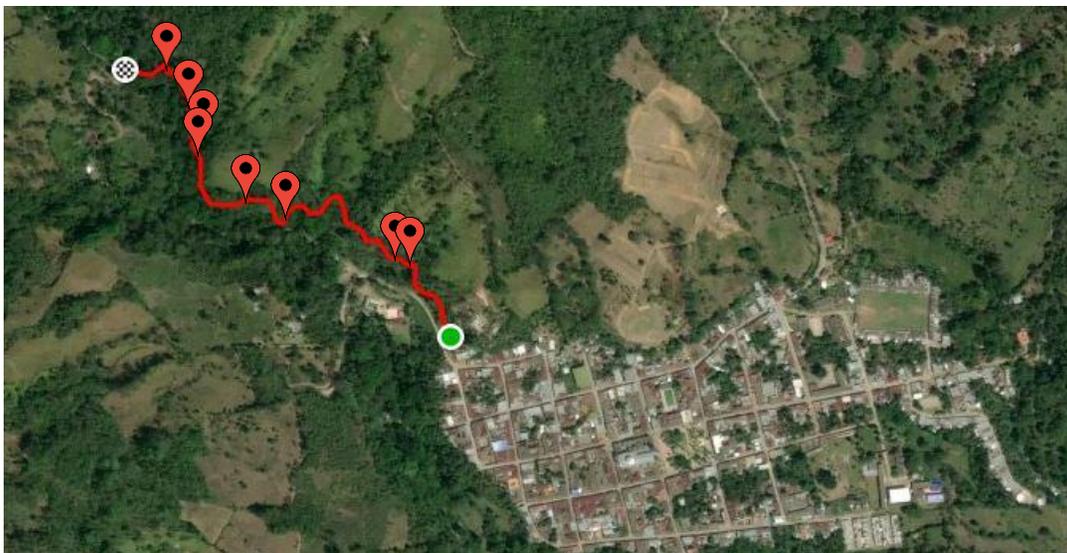


Figura 10. Recorrido del acueducto y sus puntos críticos

Fuente: Google Earth, 2021.

4.2 Fase 2: Caracterización

Recopilación de la información de obtenida. Esta consistió en examinar los datos obtenidos acerca de puntos críticos estado de canal, compuertas y tanque de almacenamiento, para asesorar idóneamente a la unidad de servicios públicos. Para así brindar acompañamiento al gobierno local, en los trabajos realizados.

4.2.1 Solicitud de mejoras y/o adecuaciones al gobierno local. Mediante el informe presentado a la unidad de servicios públicos se describen las obras a realizar a este, en la cual se define una ruta inicialmente de mantenimiento correctivo para así dar paso a la creación de una ruta mantenimiento preventivo de este circuito hidráulico.

4.2.2 Seguimiento a mejoras solicitadas. Se superviso la ejecución de las obras, solicitadas a la unidad de servicios públicos.



Figura 11. Supervisión en montaje de compuerta



Figura 12. Compuerta de captación luego del montaje



Figura 13. Compuerta del tanque de almacenamiento luego del montaje

4.2.3 Evaluación de obras realizadas. Se realizó chequeo al circuito hidráulico, en la cual se evaluaron las obras realizadas allí, con el fin de corroborar que se cumplieran los requerimientos esperados, para proceder a las mediciones. Posteriormente se realizó un informe acerca de la evaluación donde se estableció un paralelo del antes y el después de las mejoras realizadas. El cual se podrá evidenciar en el siguiente link: <https://drive.google.com/drive/folders/1oUXxOQNjjK1Ex8bobj7BzpqzOu1RxEqw?usp=sharing>

4.3 Fase 3: Estudios

Diseño de la microcentral hidroeléctrica sobre la quebrada La Monar

En esta fase del proyecto, se busca hacer el diseño de la central hidroeléctrica teniendo en cuenta las reparaciones propuestas y resultados de mediciones realizadas en el circuito hidráulico.

4.3.1 Mediciones. En esta actividad, se procedió con la medición respectiva del volumen del tanque de almacenamiento, asimismo el caudal que se maneja en la canal, mediante el método volumétrico. Se realizaron ocho mediciones durante ocho días, los tiempos de llenado del tanque de almacenamiento. A estos tiempos se les calculó la incertidumbre para así conocer la desviación, cota de alturas desde el tanque de almacenamiento hasta el antiguo cuarto de máquinas. Para realizar este levantamiento topográfico, se ha contratado un topógrafo el cual ejecuto un estudio topográfico en la zona de estudio de la microcentral.



Figura 14. Demarcación del tanque en diferentes zonas para tener noción del punto estimado desde diferentes vistas



Figura 15. Demarcación de la cuota límite para medir el caudal



Figura 16. Vista general del tanque



Figura 17. Vista de la compuerta auxiliar para realizar limpieza a los tanques

Para conocer el volumen del tanque, se designaron ciertos límites en los cuales permitiera tener una medición más exacta. Para este se definió una altura de se estimó a 1,01 metros desde el nivel de referencia del tanque “parte superior” la cual se aproximará a los 26000 litros, con base a la medición del volumen con las cotas obtenidas, Mediante el software Solidworks se hizo una estimación aproximada del volumen del tanque, el cual dio 26300 litros, pero se decide en redondear a 26000 litros esto debido a la uniformidad del tanque, también por filtraciones.



Figura 18. Vista superior del tanque de almacenamiento

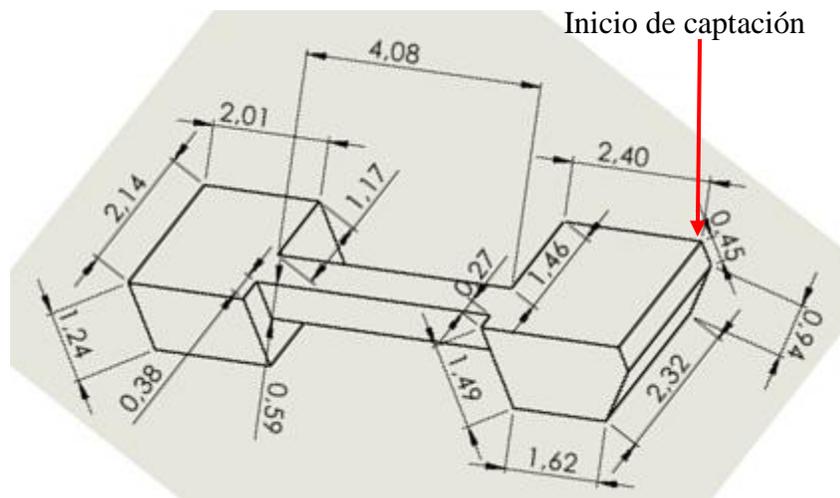


Figura 19. Dimensión del volumen de agua que posee el tanque hasta el nivel de referencia

HISTORIAL DE MEDIDAS		
VOLUMEN CONSTANTE		26000 L
DIA	MEDICIÓN	TIEMPO (minuto'segundo"centesimas'')
1	1	3' 10" 69'''
	2	2' 56" 03'''
	3	2' 58" 91'''
	4	2' 57" 73'''
	5	2' 52" 80'''
	6	2' 52" 21'''
	7	2' 53" 15'''
	8	2' 55" 04'''
2	9	2' 51" 38'''
	10	2' 55" 70'''
	11	2' 57" 20'''
	12	2' 59" 18'''
	13	2' 55" 36'''
	14	2' 56" 85'''
	15	2' 56" 27'''
	16	2' 53" 17'''
3	17	2' 58" 39'''
	18	2' 57" 31'''
	19	2' 48" 86'''
	20	3' 01" 36'''
	21	2' 50" 61'''
	22	2' 59" 30'''
	23	2' 54" 58'''
	24	2' 49" 91'''
4	25	2' 50" 99'''
	26	2' 49" 32'''
	27	2' 47" 10'''
	28	2' 46" 30'''
	29	2' 48" 10'''
	30	2' 47" 28'''
	31	2' 45" 16'''
	32	2' 45" 22'''
5	33	2' 45" 26'''
	34	2' 46" 07'''
	35	2' 46" 60'''
	36	2' 38" 47'''
	37	2' 37" 04'''
	38	2' 35" 31'''
	39	2' 33" 05'''
	40	2' 31" 67'''
6	41	2' 41" 43'''
	42	2' 41" 96'''
	43	2' 39" 52'''
	44	2' 41" 87'''
	45	2' 43" 46'''
	46	2' 41" 80'''
	47	2' 38" 53'''
	48	2' 36" 21'''
7	49	2' 42" 27'''
	50	2' 45" 53'''
	51	2' 41" 05'''
	52	2' 44" 70'''
	53	2' 43" 71'''
	54	2' 45" 03'''
	55	2' 46" 10'''
	56	2' 43" 40'''
8	57	2' 49" 80'''
	58	2' 48" 03'''
	59	2' 45" 63'''
	60	2' 47" 42'''
	61	2' 47" 34'''
	62	2' 47" 23'''
	63	2' 48" 04'''
	64	2' 48" 49'''

Figura 20. Historial de medidas realizadas para determinar el tiempo promedio de llenado del tanque

RESULTADOS				
MEDICIÓN	Total segundos	Error absoluto	Desviación media	Valor aceptado
1	190,69	22,35	499,72	168,34±7,46
2	176,03	7,69	59,20	
3	178,91	10,57	111,82	
4	177,73	9,39	88,25	
5	172,8	4,46	19,93	
6	172,21	3,87	15,01	
7	173,15	4,81	23,18	
8	175,04	6,70	44,95	
9	171,38	3,04	9,27	
10	175,7	7,36	54,23	
11	177,2	8,86	78,58	
12	179,18	10,84	117,60	
13	175,36	7,02	49,34	
14	176,85	8,51	72,49	
15	176,27	7,93	62,95	
16	173,17	4,83	23,37	
17	178,39	10,05	101,09	
18	177,31	8,97	80,54	
19	168,86	0,52	0,27	
20	181,36	13,02	169,63	
21	170,61	2,27	5,17	
22	179,3	10,96	120,22	
23	174,58	6,24	38,99	
24	169,91	1,57	2,48	
25	170,99	2,65	7,05	
26	169,32	0,98	0,97	
27	167,1	-1,24	1,53	
28	166,3	-2,04	4,14	
29	168,1	-0,24	0,06	
30	167,28	-1,06	1,11	
31	165,16	-3,18	10,08	
32	165,22	-3,12	9,71	
33	165,26	-3,08	9,46	
34	166,07	-2,27	5,13	
35	166,6	-1,74	3,01	
36	158,47	-9,87	97,33	
37	157,04	-11,30	127,59	
38	155,31	-13,03	169,67	
39	153,05	-15,29	233,65	
40	151,67	-16,67	277,74	
41	161,43	-6,91	47,69	
42	161,96	-6,38	40,65	
43	159,52	-8,82	77,72	
44	161,87	-6,47	41,80	
45	163,46	-4,88	23,77	
46	161,8	-6,54	42,71	
47	158,53	-9,81	96,15	
48	156,21	-12,13	147,03	
49	162,27	-6,07	36,79	
50	165,53	-2,81	7,87	
51	161,05	-7,29	53,08	
52	164,7	-3,64	13,22	
53	163,71	-4,63	21,40	
54	165,03	-3,31	10,93	
55	166,1	-2,24	5,00	
56	163,4	-4,94	24,36	
57	169,8	1,46	2,14	
58	168,03	-0,31	0,09	
59	165,63	-2,71	7,32	
60	167,42	-0,92	0,84	
61	167,34	-1,00	0,99	
62	167,23	-1,11	1,22	
63	168,04	-0,30	0,09	
64	168,49	0,15	0,02	
X	168,34		3509,43	
		Desviación	7,46	

Figura 21. Estimación del tiempo promedio de llenado del tanque hasta la zona marcada

De acuerdo con la ecuación de continuidad, por aplicar el método volumétrico se tiene que se puede calcular el caudal, que maneja el acueducto.

$$Q = \text{volumen del tanque} / \text{tiempo}$$

Donde:

Volumen del tanque: se obtuvo mediante la medición realizada previamente.

Tiempo promedio mostrado en la figura 20.

$$Q = \frac{26 \text{ m}^3}{168,37 \text{ s}}$$

$$Q = 0,154 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Para medir caudal se cierra, la compuerta que antes fue retirada para vaciar el tanque como se observa en la figura 13 al tener el tanque vacío. Antes de iniciar la medición se deben limpiar las hojas en el tamiz, con el fin de evitar alteraciones en las mediciones del caudal, luego de esto se cierran las dos compuertas, figura 17, siguiente a esto con un cronometro, se realiza la medición del tiempo hasta la cuota demarcada en el tanque de almacenamiento.

4.3.2 Planteamiento del modelo. En este punto del cronograma se planteó un modelo, basando se, en las ruinas del anterior mediante el ejercicio de la mecánica de fluidos.

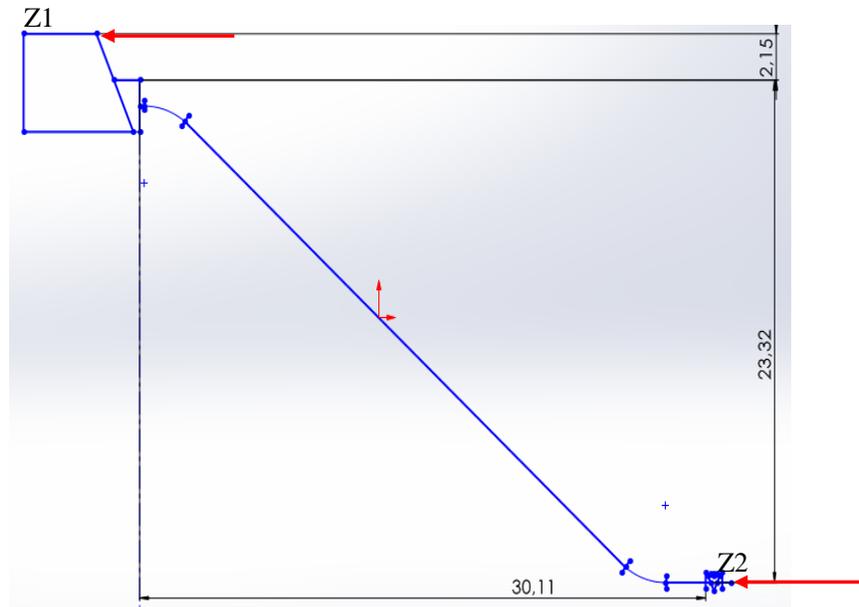


Figura 22. Vista lateral cota topográfica de altura



Figura 23. Vista isométrica del tanque de almacenamiento

Selección de tubería:

Para determinar el tipo de tubería en cual se transportará el agua desde el tanque de almacenamiento, hasta la descarga. Se emplea la tabla de velocidades recomendadas.

Tabla 2. Selección de tubería

TIPO DE SERVICIO	RANGO RECOMENDADO DE VELOCIDAD	
	Pie/s	m/s
LÍNEA DE SUCCION	2-4	0,6-1,2
LÍNEA DE RETORNO	4-13	1,5-4
LÍNEA DE DESCARGA	7-18	2-5,5

Fuente: Mott, 2006.

Como esta es una línea de descarga se estimó un valor que estuviera entre los rangos recomendados los cuales se aprecian en la tabla 2, por tanto, se eligió una velocidad de 3 m/s

Empleando la ecuación de la continuidad:

$$Q = V * A$$

Donde

Q : Es el caudal medido en la toma.

V : Es el valor estimado de la velocidad que fluirá por esta

A : Área transversal de la tubería.

Despejando:

$$A = Q/V$$

$$A = \frac{(0,154 \text{ m}^3/\text{s})}{(3 \text{ m/s})}$$

$$A = 0,0513 \text{ m}^2$$

Para hallar el diámetro de la tubería se aplica la siguiente ecuación:

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$D^2 = \frac{4 * 0,0513 \text{ m}^2}{\pi}$$

$$D = 0,255 \text{ m}$$

Con este valor se procede a buscar un diámetro comercial, que se asimile a uno estandarizado, en este caso se seleccionó un diámetro nominal de 10" acero calibre 40, dado a que este material soporta altas presiones. Tabla, ver anexo 2 tomado de (Mott, 2006). El valor de este diámetro interior es 0,2545 m. También para este circuito se requirieron los siguientes accesorios. Una válvula de compuerta y dos codos de 45°.

También los resultados del levantamiento topográfico se encuentran en el anexo 3.

Calculos para diseño geométrico de la turbina:

Para poder dar inicio con este diseño geométrico de la turbina primero se realizó un levantamiento topográfico en el área donde se encontraba el antiguo acueducto. De acuerdo con el levantamiento topográfico, la cota desde la parte más alta del tanque hasta donde desemboca la tubería antigua es de 25,471 m.

Paso 1:

Aplicando la ecuación de la energía, se procede a calcular la altura disponible, la cual se basa en la diferencia de cotas, menos las pérdidas por tuberías y/o accesorios.

$$\frac{p_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + h_A - h_R - h_L = \frac{p_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

Donde:

Z_1 : Tomada como cota superior del tanque de almacenamiento mostrada en figura 21.

v_2 : Esta velocidad es tomada como cero debido a que se encuentra en un gran volumen.

v_1 : es la velocidad en el depósito de descarga siguiente a la turbina.

Se tiene en cuenta las siguientes consideraciones.

$P_1 = P_2 = P_{atmosferica}$ esto debido a que P_1 y P_2 , representan las presiones en la superficie del reservorio y en el depósito, siguiente a la turbina se encuentra un canal abierto, estos se encuentran abiertos, por lo que se considera que las presiones en ellos es la presión atmosférica.

h_A : Energía adicionada por bombas.

h_R : Es la altura neta o salto aprovechable.

h_L : Son las pérdidas debido a la tubería y accesorios.

Reemplazando en la ecuación de la energía, y despejando a h_R se obtiene:

$$h_R = (Z_1 - Z_2) - h_L$$

Según la tabla 8.2 de (Mott, 2006), ver anexo 4.

Rugosidad del acero comercial, $\epsilon = 4.6 \times 10^{-5}$

Para calcular el número de Reynolds se aplica la siguiente ecuación:

$$N_R = \frac{4Q}{\pi * D * \nu}$$

Donde:

ν : Viscosidad cinemática del agua a 20°C, esta temperatura se estimó debido a las condiciones climáticas del municipio, $\nu = 1,02 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, obtenido de tabla de propiedad del agua, (Mott, 2006) (ver tabla del anexo 5).

D : Diámetro interno de la tubería seleccionada, de un valor nominal de 10" acero calibre 40, tabla F1 de (Mott, 2006) ver anexo 2.

Luego, el número de Reynolds es:

$$N_R = \frac{4 * 0,154 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi * 0,2545 \text{ m} * 1,02 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}^2} = 755340,7$$

Este valor dice que es un flujo turbulento los rangos son:

$$N_R < 2100 \text{ flujo laminar}$$

$$N_R = 2100 < 4000 \text{ zona de transición}$$

$$N_R > 4000 \text{ flujo turbulento}$$

Coeficiente de resistencia Darcy-Weisbach

Para hallar el factor f se aplica la ecuación:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\epsilon}{3,7D} + \frac{2,54}{N_R \sqrt{f}} \right)$$

Donde:

f : Coeficiente de resistencia Darcy-Weisbach.

ϵ : Rugosidad del material de la tubería.

N_R : Numero de Reynolds.

D : Diámetro interior de la tubería.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{4.6 \times 10^{-5}}{3,7 * 0,2545m} + \frac{2,54}{755340,7 * \sqrt{f}} \right)$$

$$f = 0,0147$$

Para obtener la altura en este circuito hidráulico planteado, se deben calcular las pérdidas por tubería y accesorios con base en la ecuación de Darcy.

La longitud aproximada de la tubería de 33 metros obtenido por medio de un levantamiento topográfico ver anexo 3, dos codos de 45°, los cuales poseen una longitud aproximada de 3,8 m por cada codo y una válvula de compuerta la cual da una altura equivalente de 1,7 metros. Los accesorios fueron tomados de Azevedo neto, ver anexo 6 al final.

Se eligió para ese caudal una tubería de 10 in, de acero calibre 40.

$$h_L = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g}$$

Donde:

h_L : Pérdida de energía debido a la fricción (N-m/N, m, lb-pie/lb o pies).

L : Longitud de la corriente del flujo (m o pies).

D : Diámetro de la tubería (m o pies).

v : Velocidad promedio del flujo (m/s o pies/s).

f : Factor de fricción (adimensional).

La ecuación de Darcy se utiliza para calcular la pérdida de energía debido a la fricción en secciones rectilíneas y largas, de tubos redondos, tanto para flujo laminar como turbulento.

Longitudes equivalentes:

Donde L son las longitudes equivalentes, correspondiente a tuberías y accesorios.

Reemplazando:

$$L = 33 \text{ m} + 7,6 \text{ m} + 1,7 \text{ m}$$

$$L = 42,3$$

Reemplazando:

$$h_L = 0,0147 * \frac{42,3 \text{ m}}{0,2545 \text{ m}} * \frac{3^2 \text{ m/s}}{2 * 9,81 \text{ m/s}^2} = 1,1 \text{ m}$$

Para calcular la altura neta:

$$h_R = (Z_1 - Z_2) - h_L$$

$$h_R = (25,741m - 0) - 1,12$$

$$h_R = 24,621 m$$

Delimitación de la capacidad de generación de la microcentral con base en las mediciones realizadas.

Para comenzar el diseño, se establecieron ciertas pautas, una de estas fue:

Recrear la microcentral mediante un modelo de turbina Pelton.

Potencia máxima generada

$$P_{max} = \gamma * Q * h_R$$

Donde:

γ : Peso específico del agua a 20°

Q : Caudal medido

h_R : Es el salto neto de la central, en metros

Reemplazando

$$P_{max} = 9,79 \text{ kN/m}^3 * 0,154 \text{ m}^3/\text{s} * 24,621 m$$

$$P_{max} = 37,1 \text{ kW}$$

Pero se debe tener en cuenta las pérdidas por, turbina, sistema de transmisión, eficiencia del generador. Multiplicando la potencia máxima que llegara a generar la microcentral, por las eficiencias mencionadas. se obtendrá la potencia máxima que producirá el generador

$$P_{greal} = P_{max} * \eta_t * \eta_g * \eta_{tr}$$

Donde:

η_g : Eficiencia del generador, este alrededor del 90% a carga plena, ver figura 42.

η_{tr} : Es la eficiencia de la transmisión mecánica utilizada entre la turbina y el generador, se toma un valor de 90% debido a que es transmisión por banda. (se empleó este valor para ajustar las pérdidas producidas por deslizamiento de la correa, en la aplicación de Selecal, muestra las pérdidas reales después de calculadas. Son pérdidas comprendidas entre 3% y 9%)

η_t : eficiencia de la turbina, alrededor del 85 % según (Hernández & Idacochea, 1988)

página 71

Reemplazando:

$$P_{greal} = 37,1 \text{ kW} * 0,85 * 0,9 * 0,9$$

$$P_{greal} = 25,5 \text{ kW}$$

Esta sería la potencia máxima que generaría la microcentral con base a su altura y caudal

La selección del generador con el cual se estima producir la energía para la microcentral se realiza con base al catálogo de Mecc Alte, este de origen italiano. Para esta selección se tiene en cuenta el salto obtenido en anexo 3 (24,621 metros) y el caudal medido ver página 65 ($0,154 \text{ m}^3/\text{s}$) que proviene de la quebrada la monar. El generador más cercano de acuerdo con el

salto y el caudal medido sería un Mecc Alte ECP32 1M4 C (ver anexo 7). Este produce en una fase 29 – 30 kVa y en trifásica de 50 - 60 kVa (valores nominales).

Se procede a realizar la conversión de kVa a kW.

Se realizan los cálculos, con el valor nominal de una fase debido, debido a que la conexión trifásica, es un plus en el alternador.

Utilizando un factor de potencia de $F_p = 0,8$. Este factor se emplea debido a que no toda la energía generada se convierte en energía aprovechable.

$$kW = kW_a * F_p = 30kVa * 0,8 = 24 kW$$

Potencia de la flecha.

Donde:

P_g : Es la potencia máxima que el generador entrega al sistema eléctrico en KW.

η_g : Eficiencia del generador, este alrededor del 90% a carga plena, ver figura 42.

η_{tr} : Es la eficiencia de la transmisión mecánica utilizada entre la turbina y el generador, se toma un valor de 90% debido a que es transmisión por banda. (se empleó este valor para ajustar las pérdidas producidas por deslizamiento de la correa)

$$P_T = \frac{P_g}{\eta_g * \eta_{tr}} = \frac{24kW}{0,9 * 0,9} = 29,6 kW$$

Para determinar el número de toberas se calculan las Ns de las turbinas.

Velocidad específica de la turbina (Ns).

$$Ns = N \frac{P_T^{1/2}}{h_R^{5/4}}$$

Donde:

P_T : Es la potencia al freno de la turbina, en *C.V.*

Conversión de los kW a C.V.

$$29,6 \text{ kW} * \frac{1,341 \text{ CV}}{1 \text{ kW}} = 39,7 \text{ CV}$$

Q : Es el caudal total que fluye por la turbina, en m^3/s , es decir la sumatoria de los caudales que fluyen por las toberas.

h_R : Es el salto neto de la microcentral, en metros.

N : Es la velocidad de giro de turbina, en RPM.

Debido a que el número característico depende directamente de los rpm seleccionados. El alternador seleccionado gira a 1800 rpm, con este valor se ha buscado una razón de velocidad de cinco (5), la cual no eleve en exceso la velocidad específica, se ha tomado 360 rpm con el fin de estar en el rango de una turbina Pelton ver tabla 3, ya que esta era la que había existido tiempo atrás.

$$Ns = N \frac{P_T^{1/2}}{h_R^{5/4}} = 360 \frac{\sqrt{39,7 \text{ CV}}}{24,62^{5/4}} = 41.3$$

El caudal requerido para generar los $29,6 \text{ kW}$ que llega a generar la flecha se determina de la siguiente manera. Se hace necesario recalcular el caudal requerido para la generación de la energía. Con base en la potencia del alternador seleccionado previamente ya. Cabe resaltar que el caudal requerido debe ser menor o igual al medido.

$$Q = \frac{P_T}{\gamma * h_R * \eta_t}$$

Donde:

h_R : Es el salto neto de la central, en metros.

P_T : Es la potencia al freno de la turbina, en kW

γ : Peso específico del agua a 20°

η_t : Eficiencia de la turbina.

$$Q = \frac{29,63 \text{ kW}}{9,79 \text{ kN/m}^3 * 24,621 \text{ m} * 0,85} = 0,144 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 0,144 \text{ m}^3/\text{s}$$

Esto quiere decir que el caudal que se obtuvo en la medición es apto para el diseño de la microcentral $Q_{\text{medido}} = 0,154 \text{ m}^3/\text{s}$

Número característico (Nq).

Con estos datos se procede a calcular el Nq para determinar el número de toberas que requiere esta turbina.

$$Nq = N \frac{Q^{1/2}}{h_R^{3/4}} = 360rpm * \frac{0,144 m^3 / s^{\frac{1}{2}}}{24,621 m^{\frac{3}{4}}} = 12,4$$

Con los valores de Nq y Ns , y utilizando la tabla que se muestra a continuación, queda definida una turbina Pelton con dos toberas.

Tabla 3. Rango de aplicación de turbinas hidráulicas

TIPO DE TURBINA		Nq	Ns
Turbina Pelton de 1 tobera		hasta 9	hasta 10
Turbina Pelton de 2 toberas		4-13	14-42
Turbina Pelton de 3 toberas o más		5-22	17-73
Turbina Michell-Banki		18-60	60-200
Turbina Francis Lenta		18-38	69-125
Turbina Francis Normal		38-68	125-225
Turbina Francis Rápida		68-135	225-450
Turbina Axial		105-300	350-1000

Fuente: Hernández & Idacochea, 1988.

4.3.3 Características de la turbina Pelton. De acuerdo a los parámetros obtenidos en el trabajo de campo tales como (caudal, altura) se selecciona el tipo de turbina, con base en el número característico y la velocidad específica. Se procede así obteniendo el valor real de la potencia al freno la cual será generada por la microcentral hidroeléctrica.

Triángulo de velocidades:

A continuación, se podrá observar cómo se comporta el fluido al interior de la cazoleta de la turbina Pelton

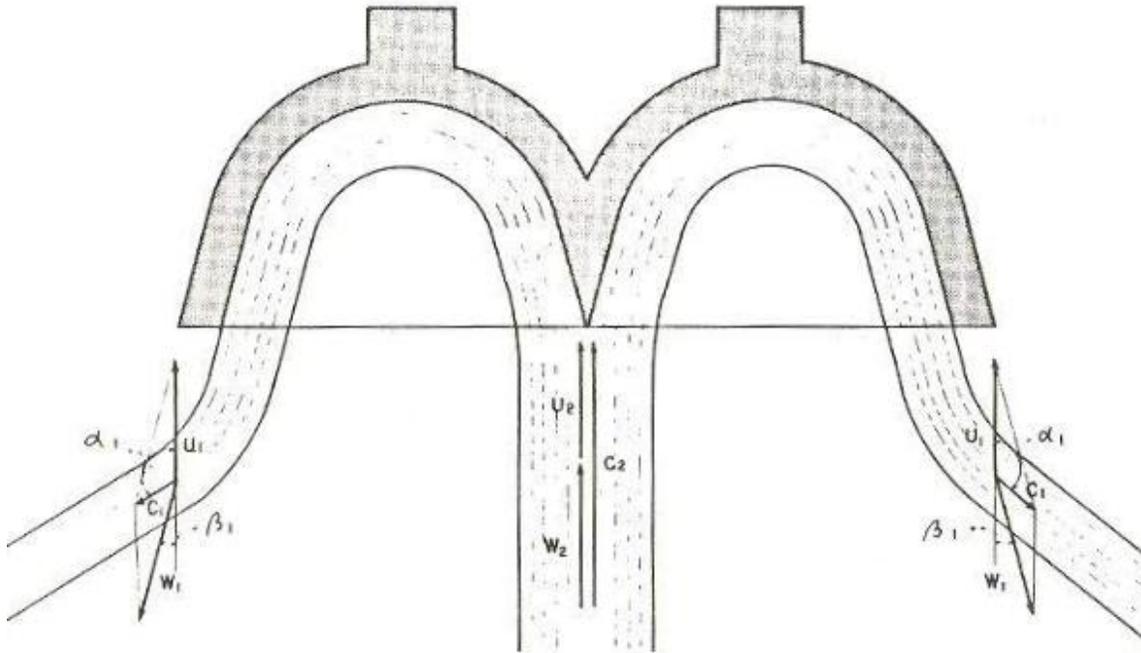


Figura 24. Diagramas de velocidad en la cuchara de una turbina Pelton

Fuente: Hernández, A. & Idacochea, E. (1988).

Velocidad a la entrada de la cazoleta C_i

$$C_i = C_2 = K_c \sqrt{2 * g * h_R}$$

Donde:

h_R : Es el salto neto o efectivo de la central, que se obtiene al restarle al salto bruto las pérdidas de presión en la tubería.

K_c : El coeficiente de velocidad se puede estimar entre 0,97 y 0,98. Según (Hernández & Idacochea, 1988) pagina 17

g : Es la fuerza gravitacional.

$$C_2 = K_c \sqrt{2 * g * h_R} = 0,97 \sqrt{2 * 9,81 \text{ m/s}^2 * 24,621 \text{ m}}$$

$$C_i = 21,32 \text{ m/s}$$

La velocidad tangencial a la entrada se expresa por:

$$U_2 = K_u * C_2 * \cos \alpha_2$$

Sabiendo que:

α_2 : Angulo del chorro a la entrada de la cazoleta, 0°

K_u : Es el coeficiente de la velocidad tangencial obtenido de la relación:

$$K_u = \frac{K_u'}{K_c}$$

En donde:

K_c : El coeficiente de velocidad se puede estimar entre 0,97 y 0,98. Según (Hernández & Idacochea, 1988) página 17

K_u' : Coeficiente de velocidad de rotación.

$$K_u' = 0,49 - 0,0072 * \frac{Nq}{i^{\frac{1}{2}}}$$

Se tiene que:

i : Es el número de toberas que llevara la turbina Pelton. Ya determinados según el numero característico, ver tabla 3

$$Ku' = 0,49 - 0,0072 * \frac{Nq}{i^{\frac{1}{2}}} = 0,49 - 0,0072 * \frac{12,22}{2^{\frac{1}{2}}}$$

$$Ku' = 0,427$$

Reemplazando:

$$Ku = \frac{Ku'}{K_c} = \frac{0,427}{0,97}$$

$$Ku = 0,441$$

Este valor se encuentra dentro de los rangos recomendados que comprende valores entre 0,44 y 0,48. Según (Hernández & Idacochea, 1988) página 19

Entonces el valor de la velocidad tangencial a la entrada será.

Remplazando:

$$U_2 = 0,441 * 21,32 \text{ m/s} * \cos \alpha_2$$

$$U_2 = 9,4 \text{ m/s}$$

Con estas velocidades se puede determinar la velocidad relativa a la entrada W2, expresada por, según (Hernández & Idacochea, 1988) página 19:

$$W_2 = C_2 * (1 - Ku) = 21,32 \text{ m/s} * (1 - 0,427)$$

$$W_2 = 12,22 \text{ m/s}$$

Velocidad tangencial U_1 es igual a U_2 , por estar los puntos 1 y 2 a la misma distancia del centro de giro del rodete.

$$U_1 = U_2 = 9,4 \text{ m/s}$$

Velocidad relativa a la salida W_1 , que se obtiene con la siguiente fórmula.

$$W_1 = K_f * C_2 * (1 - Ku)$$

En donde:

K_f : representa el coeficiente de velocidad relativa, que se puede estimar en 0,98. Según (Hernández & Idacochea, 1988) página 19.

$$W_1 = K_f * C_2 * (1 - Ku) = 0,98 * 21,32 \text{ m/s} * (1 - 0,427)$$

$$W_1 = 11,97 \text{ m/s}$$

Con estas velocidades se puede obtener la velocidad absoluta a la salida de la cuchara, expresada por:

$$C_1 = C_2 \sqrt{Ku^2 + K_f^2(1 - Ku)^2 - 2 * Ku * K_f * (1 - Ku) * \cos \beta_1}$$

El manual de (Hernández & Idacochea, 1988) página 20. se expresa que el valor de β_1 está comprendido entre 5° y 20° . Se toma un valor de β_1 de 10° .

Reemplazando:

$$C_1 = 21,32 \text{ m/s} * (0,427^2 + 0,98^2(1 - 0,427)^2 - 2 * 0,427 * 0,98 * (1 - 0,427) * \cos 10) ^{1/2}$$

$$C_1 = 3,4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Con este valor se determina el ángulo α_1 , utilizando la siguiente expresión Según (Hernández & Idacochea, 1988) página 20:

$$\alpha_1 = \cos^{-1} \left(\frac{Ku - K_f * (1 - Ku) * \cos \beta_1}{\sqrt{Ku^2 + K_f^2 * (1 - Ku)^2 - 2 * Ku * K_f * (1 - Ku) * \cos \beta_1}} \right)$$

$$\cos^{-1} \left(\frac{0,427 - 0,98 * (1 - 0,427) * \cos 10}{\sqrt{0,427^2 + 0,98^2 * (1 - 0,427)^2 - 2 * 0,427 * 0,98 * (1 - 0,427) * \cos 10}} \right)$$

$$\alpha_1 = 142,3^\circ$$

Diámetro Pelton:

Para calcular el diámetro Pelton despejo el valor del diámetro Pelton de la siguiente ecuación Según (Hernández & Idacochea, 1988) página 71

Diámetro Pelton se halla con la siguiente ecuación:

$$D_p = \frac{84,54 * Ku' * h_R^{\frac{1}{2}}}{N}$$

Reemplazando:

$$D_p = \frac{84,54 * Ku' * h_R^{\frac{1}{2}}}{N} = \frac{84,54 * 0,427 * 24,621^{\frac{1}{2}}}{360 \text{ rpm}}$$

$$D_p = 0,497 \text{ m}$$

Diámetro del chorro Según (Hernández & Idacochea, 1988) página 22:

$$d = 0,545 \left(\frac{Q_0}{\sqrt{h_R}} \right)^{1/2}$$

Donde:

Q_0 : Es el caudal requerido, que saldrá por cada una de las toberas en m^3/s

h_R : Salto neto en metros.

Resolviendo.

$$d = 0,545 \left(\frac{Q_0}{\sqrt{h_R}} \right)^{1/2} = 0,545 \left(\frac{\frac{0,147}{2} m^3/s}{\sqrt{24,621 m}} \right)^{1/2}$$

$$d = 0,0656 m$$

En la tabla 4 se dan las proporciones de la tobera en función del diámetro del chorro. Los cálculos se muestran a continuación, y en la figura siguiente se especifican las dimensiones.

Tabla 4. Proporciones de la tobera en función del diámetro del chorro

PROPORCIONES DE LA TOBERA EN FUNCION DEL DIAMETRO DEL CHORRO										
a	α_0	α_1	dt	x	dv	b	d2	l	r	d1
1,42d	40	60	1,1d	0,5d	0,58d	3,25d	4,5d	6,0d	15d	2,5d
a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
1,62d	60	90	1,4d	1,116d	1,16d	3,7d	4,6d	12,1d	25d	4,0d

Fuente: Hernández & Idacochea, 1988.

Para calcular los valores mostrados, para la dimension de la tobera, se puede emplear los rangos de valores mostrados en la tabla 4, estos valores estan en funcion del diametro del chorro.

$$a = 1,52d = 0,1001m$$

$$\alpha_0 = 55^\circ$$

$$\alpha_1 = 75^\circ$$

$$d_t = 1,37d = 0,090m$$

$$x = 0,91d = 0,060m$$

$$d_v = 1,11 d = 0,07296m$$

$$b = 3,66 d = 0,24044m$$

$$d_2 = 4,57d = 0,300m$$

$$l = 9,14d = 0,6002m$$

$$r = 22,84d = 1,500m$$

$$d_1 = 3,43 d = 0,2255m$$

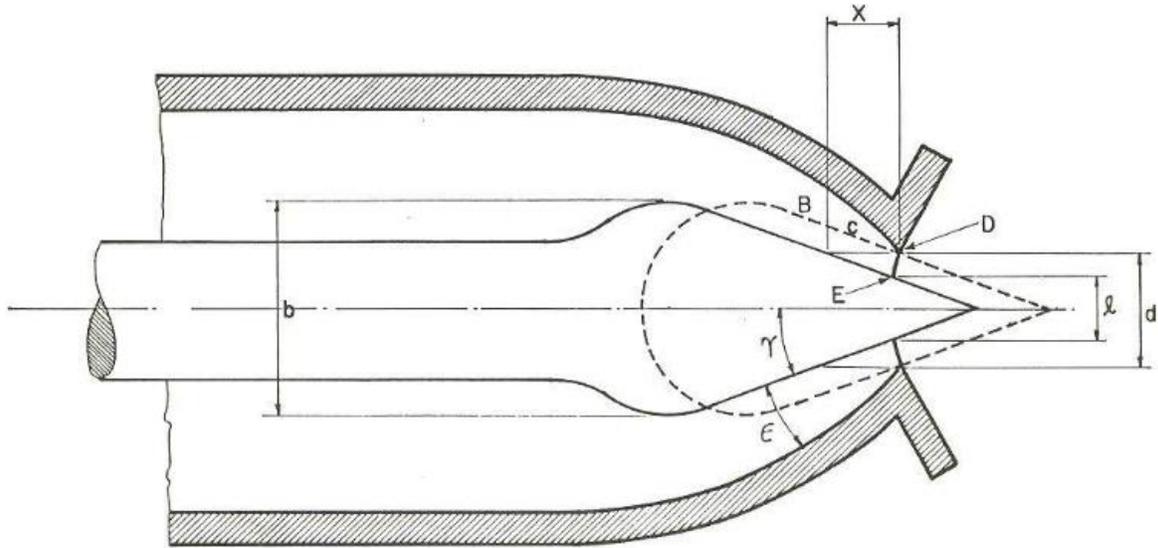


Figura 25. Dimensiones del inyector de una turbina de acción tangencial

Fuente: Hernández, A. & Idacochea, E. (1988).

A continuación, se determinan la geometría de las cucharas esto en función del diámetro del chorro, con base a la tabla cinco (5). Igualmente, se muestran los cálculos respectivos, y en las siguientes figuras se muestran sus dimensiones.

Tabla 5. Dimensiones de las cucharas Pelton en función del diámetro del chorro

DIMENSIONES DE LAS CUCHARAS PELTON EN FUNCION DEL DIAMETRO DEL CHORRO										
B	L	D	f	M	e	β_1	β_2	l	β_3	β_4
2,5d	2,5d	0,85d	0,8d	1,0d	0,3d	10°	4°	1,6d	2°	0°
a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
1,0d	3,5d	1,3d	1,1d	1,2d	0,6d	30°	20°	1,7d	5°	20°

Fuente: Hernández & Idacochea, 1988.

Para calcular los valores mostrados, para la dimension de la cucharas, se puede emplear los rangos de valores mostrados en la tabla 5, estos valores estan en funcion del diametro del chorro

$$B = 3,56 d = 0,233765m$$

$$L = 3.04d = 0,200m$$

$$D = 1,068d = 0,0701295m$$

$$f = 0,915d = 0,060111m$$

$$M = 1,037 d = 0,068099m$$

$$e = 0,508d = 0,03339m$$

$$l = 1,67d = 0,11020m$$

$$\beta_1 = 10^\circ$$

$$\beta_2 = 20^\circ$$

$$\beta_3 = 5^\circ$$

$$\beta_4 = 8^\circ$$

Geometría de las cazoletas:

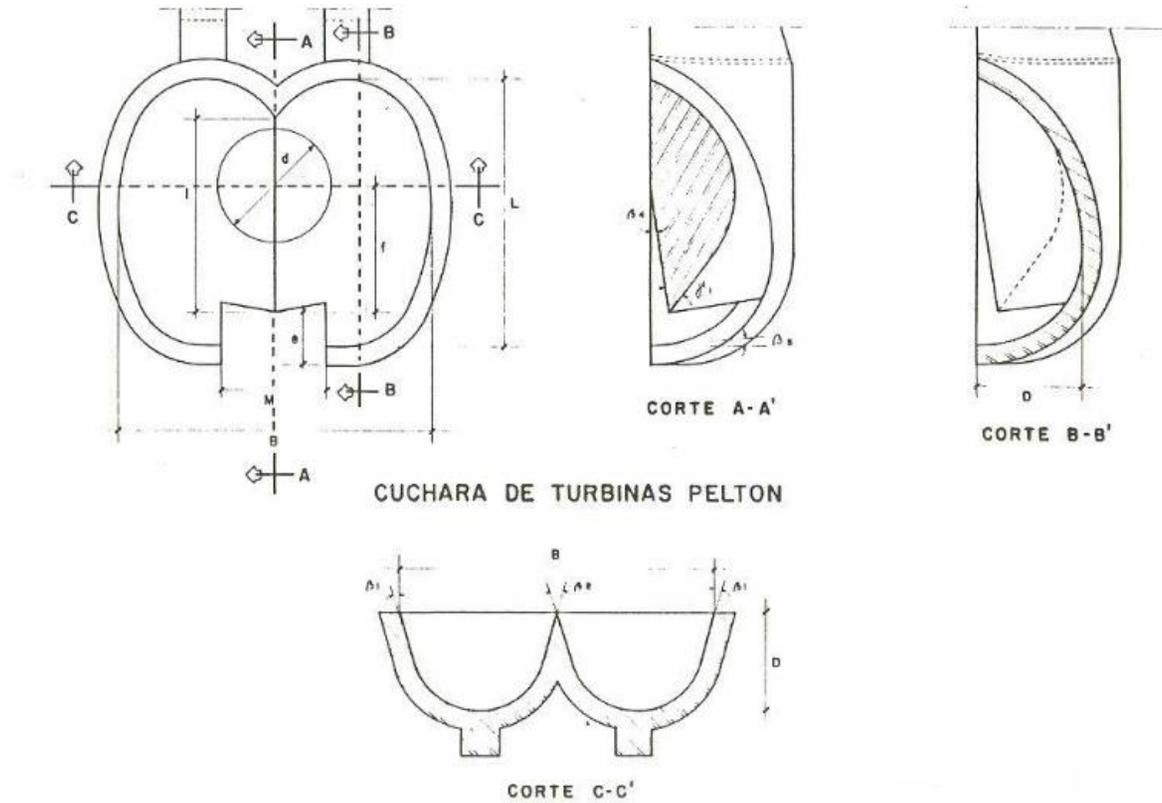


Figura 26. Vista frontal y vistas laterales con corte de sección

Fuente: Hernández & Idacochea, 1988.

Cálculo de número de cazoletas de la turbina:

En esta sección se procede a determinar el número estimado de cucharas o cazoletas, de la turbina, teniendo en cuenta las recomendaciones del manual OLADE. Además, se puede obtener un estimado del número de cucharas a partir de la tabla mostrada a continuación.

Tabla 6. Número de cucharas en función de la relación

DIAMETRO DEL RODETE/DIAMETRO DEL CHORRO				
Dp/d	Ku		NUMERO DE CUCHARAS	
			Zmín	Z máx
15	0,471		21	27
14	0,469		21	26
13	0,466		20	25
12	0,463		20	24
11	0,46		19	24
10	0,456		18	23
9	0,451		18	22
8	0,445		17	22
7,5	0,441		17	21

Fuente: Hernández & Idacochea, 1988.

Relación de diámetros:

$$D_p/d$$

Donde

D_p : Es el diámetro Pelton.

d : Diámetro del chorro.

$$D_p/d = \frac{0,497}{0,0656}$$

$$D_p/d = 7,57$$

Diámetro de la circunferencia que describe la punta de la arista al rotar el rodete, expresado en metros Según (Hernández & Idacochea, 1988) página 35 .

$$D_a = D_p + 2f = 0,497 \text{ m} + 2(0,060111 \text{ m})$$

$$D_a = 0,617 \text{ m}$$

Donde:

f : se estima de la geometría de la cazoletas, previamente calculadas en la tabla 5.

D_p : Diámetro Pelton.

Con el análisis descrito se puede determinar el número de cucharas, el cual se calcula utilizando la siguiente fórmula Según (Hernández & Idacochea, 1988) página 35.

$$Z = \frac{2\pi}{K_p \left(\theta - 2 \left(\frac{D_a}{D_p} \right) * K_u * \sin(\theta/2) \right)}$$

En donde:

Z : Es el número de cucharas.

K_p : Es factor practico que define el paso real de la cuchara y se toma dentro del rango comprendido entre 0,65 y 0,85 Según (Hernández & Idacochea, 1988) página 35.

θ : Es un ángulo en radianes que se obtiene con la siguiente ecuación Según (Hernández & Idacochea, 1988) página 35.

$$\theta = 2 \cos^{-1} \left(\frac{D_p + d}{D_a} \right)$$

Reemplazando:

$$\theta = 2 \cos^{-1} \left(\frac{D_p + d}{D_a} \right) = 2 \cos^{-1} \left(\frac{0,497 \text{ m} + 0,060111 \text{ m}}{0,617 \text{ m}} \right)$$

$$\theta = 0,888 \text{ rad} \quad \text{ó} \quad 50,91^\circ$$

Siiguiente a esto se procede a determinar el número de cazoletas de la turbina.

$$Z = \frac{2\pi}{0,77 \left(0,873 \text{ rad} - 2 \left(0,617 \text{ m} / 0,497 \text{ m} \right) * 0,441 * \sin \left(50,91^\circ / 2 \right) \right)}$$

$$Z = 19,55 \text{ Cazoletas}$$

Se aproxima a 20 el número de cazoletas.

El Angulo de talonamiento recomendado para Z=20 es $\gamma_0 = 32^\circ$ (ver la tabla de abajo).

Tabla 7. Angulo de talonamiento en función del número de cucharas

ANGULOS DE TALONAMIENTO RECOMENDADOS γ_0											
Dp/d	NUMERO DE CUCHARAS (Z)										
	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17
15	38°	38°	37°	37°	36°	36°	35°	-	-	-	-
14	-	37°	37°	36°	35°	35°	34°	-	-	-	-
13	-	-	36°	36°	35°	34°	34°	33°	-	-	-
12	-	-	-	35°	34°	34°	33°	32°	-	-	-
11	-	-	-	35°	34°	33°	33°	32°	31°	-	-
10	-	-	-	-	34°	33°	32°	31°	30°	30°	-
9	-	-	-	-	-	34°	33°	32°	30°	30°	-
8	-	-	-	-	-	35°	34°	33°	31°	30°	29°
7,5	-	-	-	-	-	35°	34°	32°	31°	31°	29°

Fuente: Hernández & Idacochea, 1988. Pag 38

La orientación de las cucharas y su ángulo de talonamiento son factores determinantes para obtener buenas eficiencias en las turbinas Pelton, y también influyen en la confiabilidad de las cucharas, porque un desgaste excesivo de la punta de la arista se puede deber a un inadecuado ángulo de talonamiento.

En la figura 25 se muestra un método gráfico, mediante el cual se pueden elaborar los planos de las cucharas y del rodete de las turbinas.

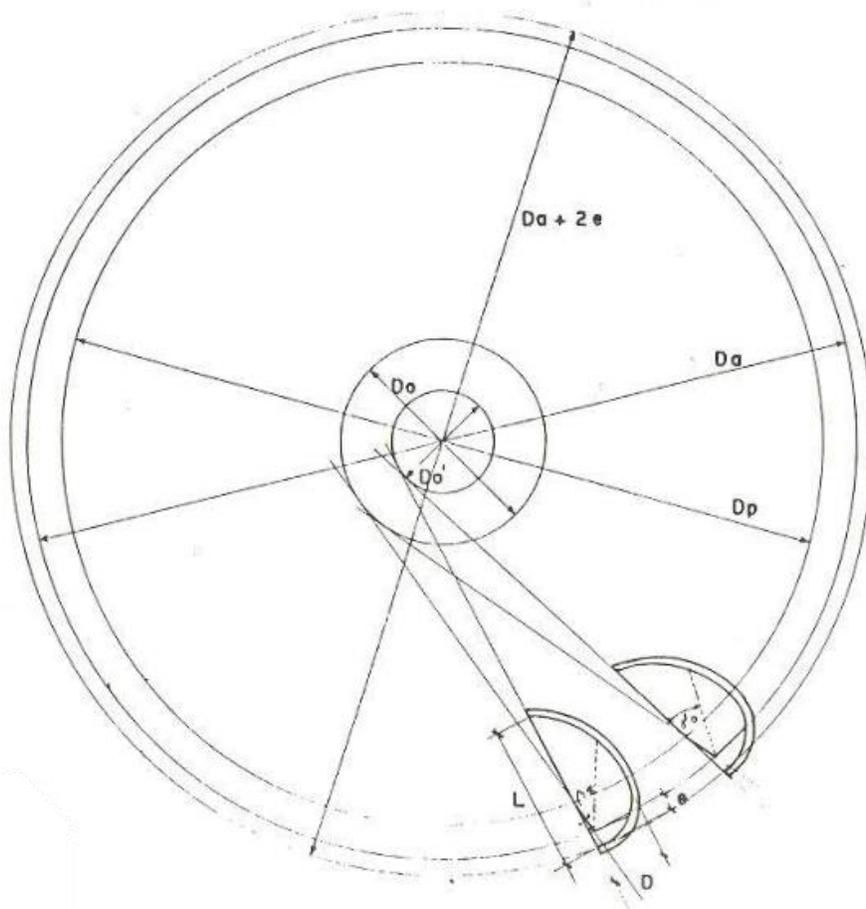


Figura 27. Método gráfico, mediante el cuáles puede elaborar los planos de las cucharas y del rodete de una turbina Pelton

Fuente: Hernández & Idacochea, 1988.

Orientación de la arista de la cuchara con respecto al centro de giro del rodete Según (Hernández & Idacochea, 1988) página 36.

$$D_o = \frac{D_p}{\left(\frac{7,87 * \left(\frac{D_p}{d} \right) - 26}{z} \right)}$$

Donde:

D_p : Diámetro Pelton.

d : Diámetro del chorro.

z : Numero de cazoletas.

$$D_o = \frac{0,497 \text{ m}}{\left(\frac{7,87 * \left(\frac{0,497 \text{ m}}{0,0656 \text{ m}} \right) - 26}{20 \text{ cazoletas}} \right)}$$

$$D_o = 0,29561 \text{ m}$$

Diámetro del círculo cuyas tangentes definen la orientación del borde de la cuchara Según (Hernández & Idacochea, 1988) página 38.

$$D'_o = \left(\frac{\left(5,3 - 0,12 \left(\frac{D_p}{d} \right) \right)}{z} \right) * D_p$$

$$D'_o = \left(\frac{\left(5,3 - 0,12 \left(\frac{0,497 \text{ m}}{0,0656 \text{ m}} \right) \right)}{20} \right) * 0,497 \text{ m}$$

$$D'_0 = 0,1316 \text{ m}$$

Con esta relación se puede obtener el valor del ángulo β_4 , el cual se puede determinar de la siguiente forma Según (Hernández & Idacochea, 1988) página 38:

$$\beta_4 = \beta' - \beta''$$

Pero:

$$\beta' = \sin^{-1} \left(\frac{Z}{(7,87 (D_p/d) - 26)} \right)$$

En donde:

$$\beta' = \sin^{-1} \left(\frac{20}{(7,87 (0,497 \text{ m}/0,0656 \text{ m}) - 26)} \right)$$

$$\beta' = 36,5^\circ$$

$$\beta'' = \sin^{-1} \left(\frac{\left((5,3 - 0,12 (D_p/d)) \right)}{Z} \right) \text{ EC 26}$$

$$\beta'' = \sin^{-1} \left(\frac{\left((5,3 - 0,12 (0,497 \text{ m}/0,0656 \text{ m})) \right)}{20} \right)$$

$$\beta'' = 12,68^\circ$$

$$\beta_4 = \beta' - \beta'' = 23,8^\circ$$

Espesor mínimo de pared en el tramo recto de la tobera:

Para determinar el espesor mínimo que debe tener las paredes del tramo recto que conecta a la tobera, este se indica en la siguiente figura por medio de dos flechas rojas se debe aplicar la siguiente ecuación Según (Hernández & Idacochea, 1988) página 43:

$$e_{min} = \frac{P_i * d_2}{2(S_d E_o - 0,6 P_i)}$$

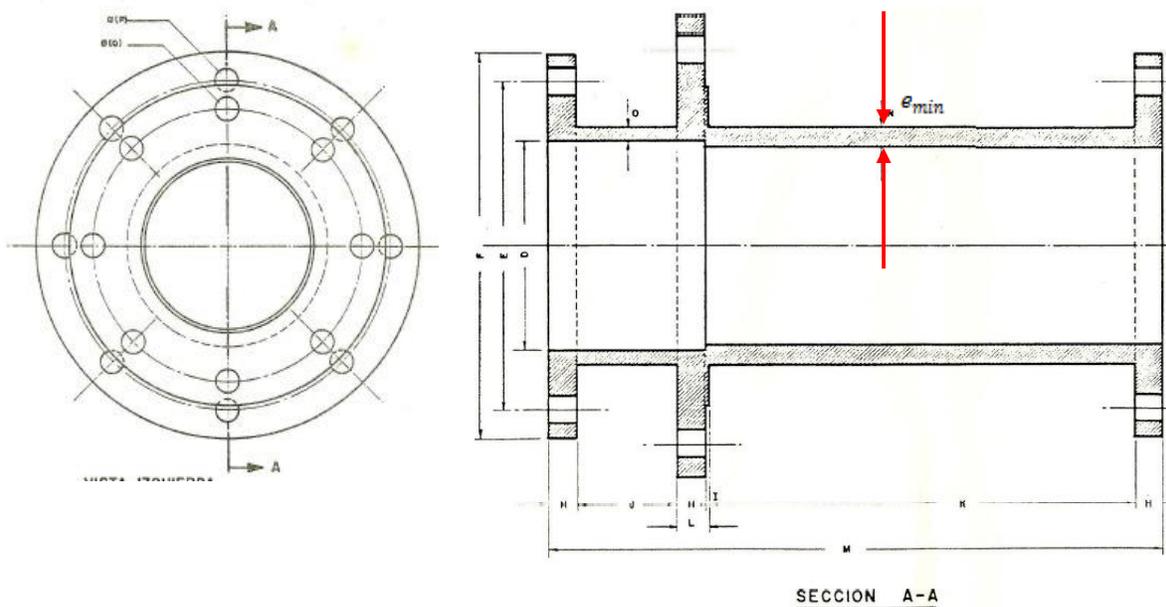


Figura 28. Tramo recto de la tobera del inyector de una turbina Pelton

Fuente: Hernández & Idacochea, 1988.

Donde:

e_{min} : Espesor mínimo de la pared, en m.

P_i : Es la presión interna máxima a la que estará sometido el inyector en Kg/m^2

d : Es el diámetro interno de la entrada al inyector en metros.

S_d : Es el esfuerzo de diseño del material utilizado en la fabricación de este elemento. Se estima en un valor igual al 66% del esfuerzo de fluencia, expresado en Kg/m^2 Según (Hernández & Idacochea, 1988) página 29.

E_o : Es un factor que contempla los acabados de fabricación y tolerancias por corrosión, su valor está comprendido entre 0,6 y 0,8. Según (Hernández & Idacochea, 1988) página 28.

Presión interna máxima:

$$P_i = \mu(Z_1 - Z_2) = 9,79 \text{ kN/m}^3 * 25,471 \text{ m}$$

$$P_i = 2,54 \text{ Kg}_f / \text{cm}^2$$

S_d : Esfuerzo de diseño del material $0,66S_y$

El material designado, es un acero ASTM A-36, con una fluencia de 250 MPa, convirtiendo se obtiene $2549.29 \text{ Kg} / \text{cm}^2$

$$S_d = 0,66S_y$$

Reemplazando:

$$S_d = 0,66 * 2549.29 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

$$S_d = 1682,53 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

Reemplazando:

$$e_{min} = \frac{P_i * d_2}{2(S_d E_o - 0,6 P_i)} = \frac{2,54 \text{ Kg}_f / \text{cm}^2 * 30 \text{ cm}}{2(1682,53 * 0,6 - 0,6 * 2,54) \text{ Kg}_f / \text{cm}^2}$$

$$e_{min} = 0,37 \text{ mm}$$

Ese será el espesor de pared de la tubería en la sección anterior a la salida del chorro.

Cálculo de la aguja del inyector:

Los cálculos mecánicos que se pueden realizar para complementar.

El diseño de la aguja, están basados en la hipótesis de que la aguja está sometida a una tracción constante, al tratar permanentemente de reducir el flujo en el inyector. Esta afirmación sólo se cumple cuando el diámetro del vástago es menor que el diámetro de la sección de salida del inyector Según (Hernández & Idacochea, 1988) página 44, es decir:

$$\text{cuando } dv < dt$$

Se tiene que

$$dt = 0,09 \text{ m}$$

$$dv = 0,07296 \text{ m}$$

Esfuerzo máximo de la aguja Según (Hernández & Idacochea, 1988) página 44:

$$S_a = \frac{1000 H (dt^2 - dv^2)}{dv^2}$$

En donde:

S_a : Es el esfuerzo de la aguja, en Kg/m^2

H : Es el salto bruto de la central en metros.

dt : Es el diámetro de la boca a la salida de la tobera.

dv : Es el diámetro de vástago de la aguja.

Reemplazando:

$$S_a = \frac{1000 H (dt^2 - dv^2)}{dv^2} = \frac{998 \text{ kg/m}^3 * 25,471 * (0,09^2 - 0,07296^2)}{0,07296^2}$$

$$S_a = 13,26 \times 10^3 \text{ kg/m}^2$$

El esfuerzo resultante en la aguja debe cumplir la siguiente relación Según (Hernández & Idacochea, 1988) página 44:

$$S_a < 0,66 S_y$$

El material seleccionado para la aguja según la recomendación del manual Hernández, A. & Idacochea, E. (1988). Es un acero inoxidable 304 recocido el cual da un esfuerzo a la fluencia de 276MPa o $28144161,6 \text{ Kg/m}^2$

$$0,66S_y = 0,66 * 28144161,6$$

$$0,66S_y = 18,57 \times 10^6 \text{ Kg/m}^2$$

Entonces se cumple que:

$$S_a < 0,66 S_y$$

Donde:

$$13,26 \times 10^3 \text{ kg/m}^2 < 18,57 \times 10^6 \text{ Kg/m}^2$$

Quiere decir que el material de la aguja del inyector es adecuado para su óptimo funcionamiento.

Fuerza máxima para regulación de caudal.

$$F_{max} = \frac{\pi * d_v^2 * S_a}{4} = \frac{\pi * (0,07296\text{m})^2 * 12,73 \times 10^3 \text{ kg/m}^2}{4}$$

$$F_{max} = 53,22 \text{ kg}$$

Para proceder a calcular el diámetro del eje por ASME se tuvo en cuenta las siguientes consideraciones. Primero se calculó por medio de solidworks con base en la geometría tanto de la polea como la de la turbina su peso, siguiente a esto se eligió un valor por encima al proporcionado por el CAD (Solidworks), esto se considera con el fin de tener un factor de seguridad más elevado, también se desconoce la precisión con la cual se elaboren las piezas debido al material de fabricación, ver anexo 8.

Peso de la turbina estimado: 130 kg. Peso de la polea estimado 110 kg.

En el caso del rodete, se consideró un rodete fundido en una pieza, por lo cual no se requirió seleccionar los pernos que fijan la cuchara al disco. La determinación de escoger un rodete

fundido en una sola pieza se debió a que la relación $\left(\frac{D_p}{d}\right) = 7,57$; esta es inferior a 12, tomado de (Hernández & Idacochea, 1988).

Cálculo de la distancia entre chumaceras:

Entonces: La distancia ente chumaceras por recomendación (Hernández & Idacochea, 1988) página 74, se considera que como mínimo la distancia entre chumaceras debe ser 15 veces el diámetro del chorro.

Distancia entre chumaceras será:

$$D_c > 15d$$

Se tiene que

$$D_c = 15 * 0,0656m$$

$$D_c = 0,984 m$$

Este valor se aproxima a un metro para comodidad en el diseño.

4.3.4 Evaluación. Se evalúa el modelo de la turbina propuesto para así evaluar, los componentes mecánicos que conforman la microcentral hidroeléctrica tales como, cálculo de rodamientos, diámetro del eje, sistema de transmisión de potencia con sus componentes y sistema de fijación.

Visualización del modelo:

Con el fin de tener una imagen más clara de los elementos que irán en el eje, se realizó una simulación, la cual permita tener una mejor perspectiva al lector, con base en los cálculos obtenidos de la geometría de la turbina y de la polea.

En las siguientes imágenes se podrá apreciar una perspectiva isométrica. En esta se puede apreciar los elementos a estudio de carga para determinar el diámetro del eje.

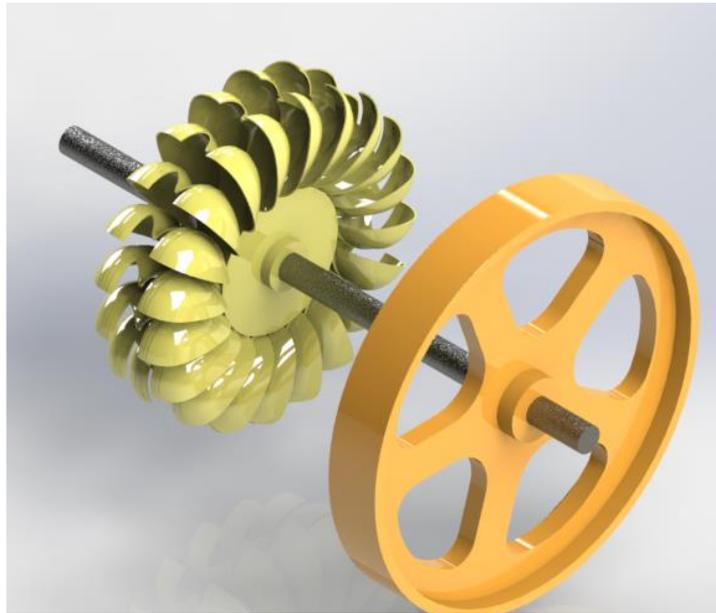


Figura 29. Vista isométrica de elementos del modelo sobre el eje

Para los diagramas presentados a continuación se podrá apreciar a la izquierda la rueda Pelton y a su derecha se encuentra la polea, esto con el fin de dar claridad al lector en la interpretación de los diagramas de cuerpo libre.

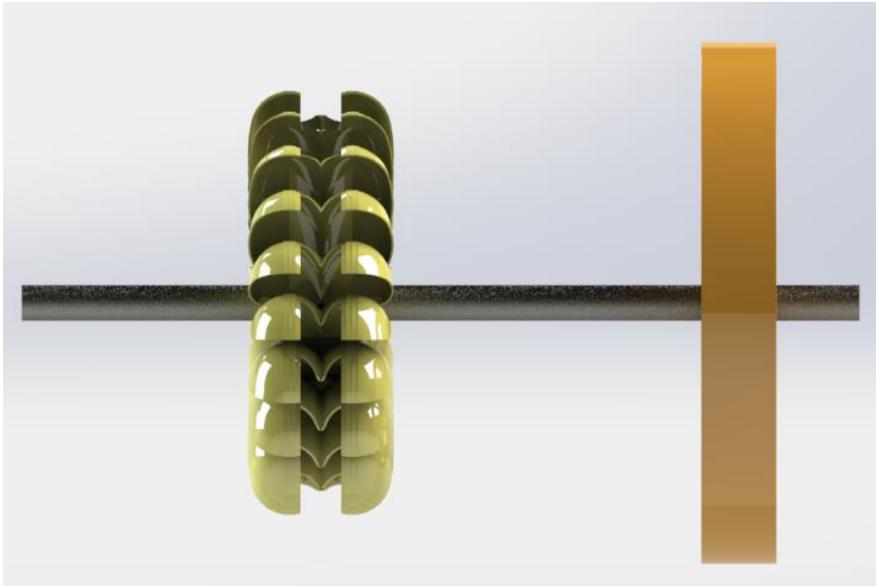


Figura 30. Vista frontal de los elementos que componen al eje

Cálculo de diámetro del eje:

Diagrama de cuerpo libre plano x-y.

Donde F , es la fuerza del chorro; WT el peso del rodete y WP es el peso de la polea.

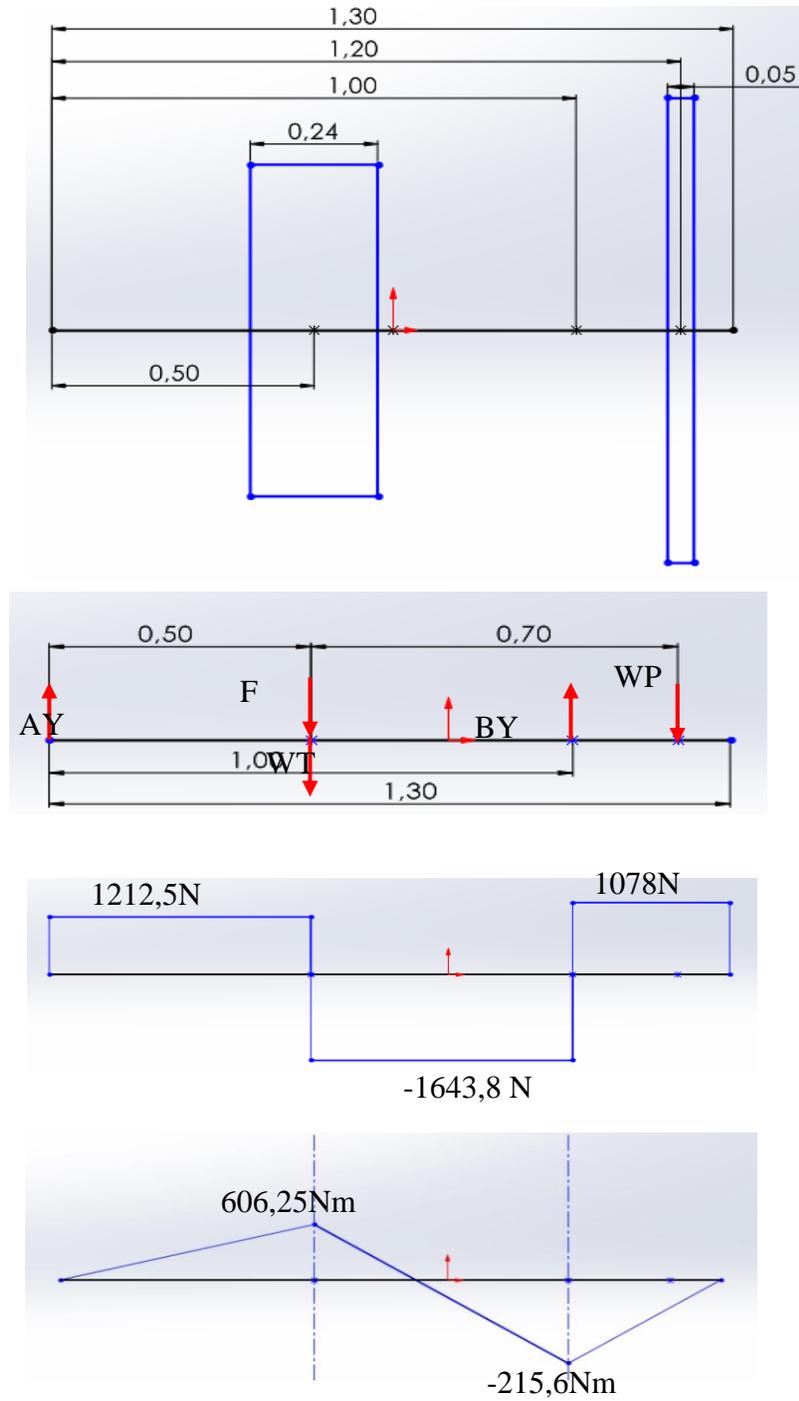


Figura 31. Diagrama de fuerzas del plano X-Y, diagrama de cuerpo libre, diagrama de momento, diagrama de cortante

Plano Z-X

Donde F , es la fuerza del chorro y F_1 - F_2 es la fuerza que ejerce la correa sobre la polea

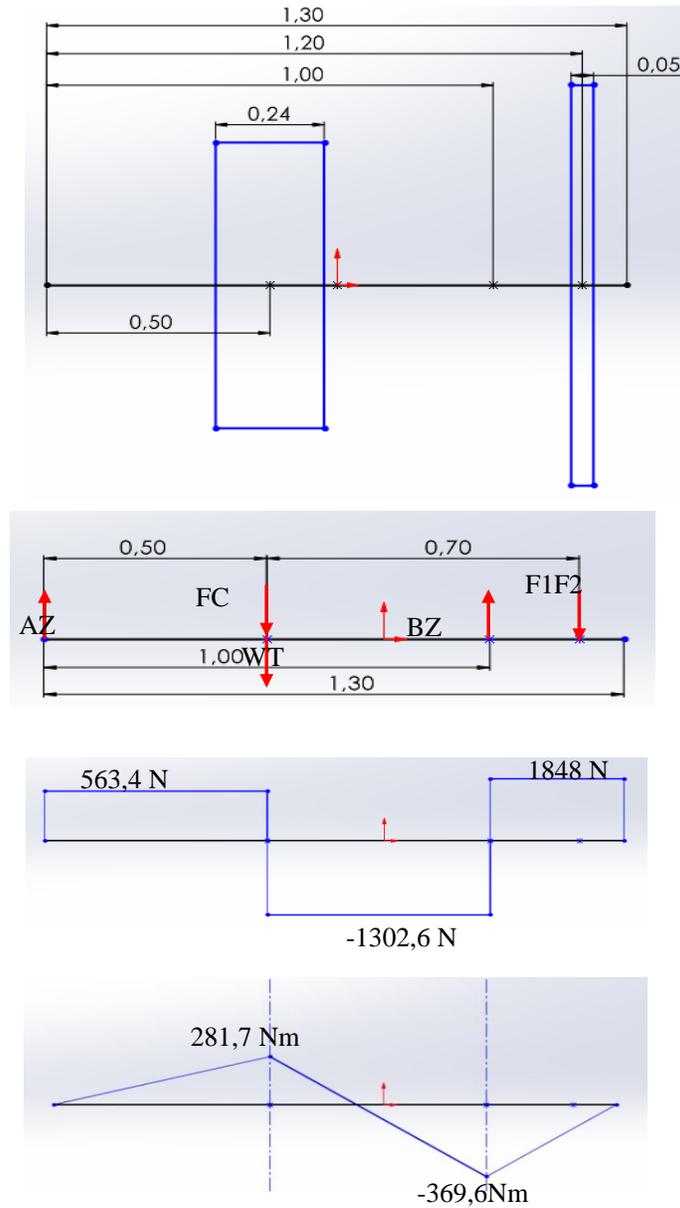


Figura 32. Diagrama de fuerzas del plano Y-Z, diagrama de cuerpo libre, diagrama de momento, diagrama de cortante

Diagrama ortogonal momento máximo:

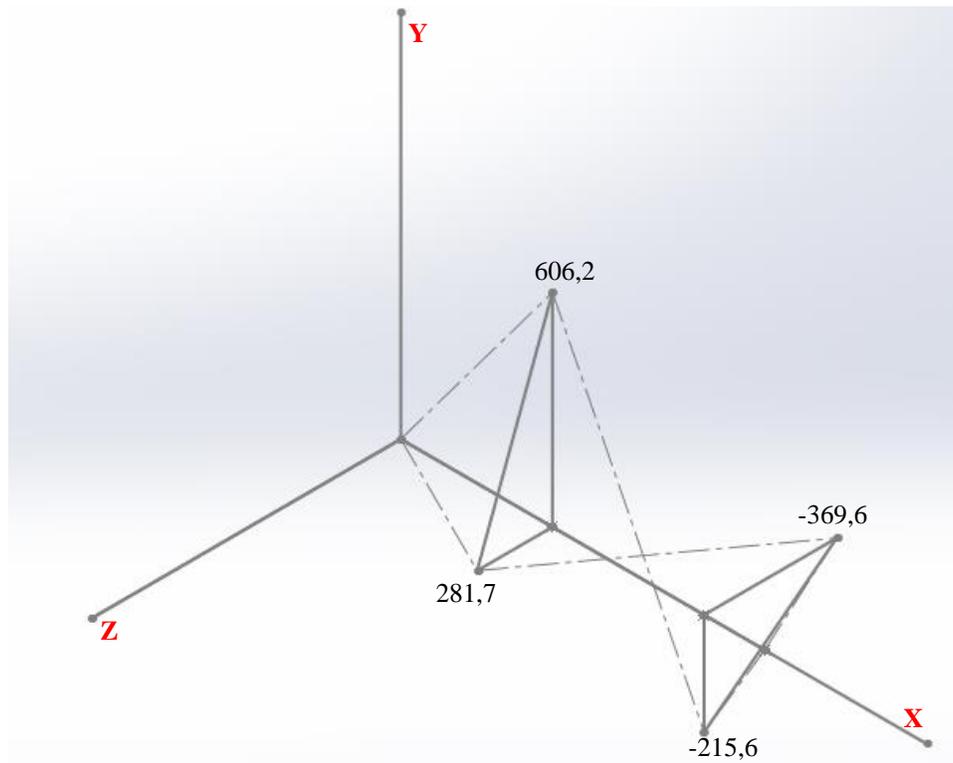


Figura 33. Diagrama ortogonal de momento máximo

Momento resultante:

$$M_1 = \sqrt{606,3^2 + 281,7^2}$$

$$M_1 = 668,5 \text{ Nm}$$

$$M_2 = \sqrt{369,6^2 + 215,6^2}$$

$$M_2 = 427,9 \text{ Nm}$$

La fuerza que se ejerce en el eje debido a la turbina se determina así Según (Hernández & Idacochea, 1988) página 48.

$$F = \frac{974 * Pt}{Dp * N}$$

Donde

WP : Es el peso estimado del rodete en kg.

Pt : Es la potencia de la turbina, en kW.

N : Es el número de revoluciones en RPM.

T_{max} : es el momento torsor máximo que se presenta en el eje en kg-m, y se puede determinar con la siguiente expresión Según (Hernández & Idacochea, 1988) página 50.

$$F = \frac{974 * 29,63 \text{ kW}}{0,497 \text{ m} * 360 \text{ rpm}}$$

$$F = 161,3 \text{ kg}$$

$$T_{max} = \frac{974 * 29,63 \text{ kW}}{360 \text{ rpm}}$$

$$T_{max} = 80,16 \text{ kg.m ó } 786,4 \text{ N.m}$$

Cálculo del diámetro del eje por ASME.

Este se puede calcular mediante la siguiente ecuación.

$$\phi_{eje}^3 = \frac{\pi}{\pi * S_d} \sqrt{(Km * M_{max})^2 + (Kt T_{max})^2}$$

Para el diseño del eje que soportara la turbina y la polea, se seleccionó un acero 1045 HR con una fluencia de $S_y = 310 \text{ MPa}$ tomado de la tabla 14,4 de (Spotts & Shoup, 1999), ver anexo 9.

Km : Factor de momento flector para carga estable, se puede estimar con un valor de 1,5.

Kt : Factor de momento torsor para carga estable, se puede estimar con un valor de 1.

S_d : Esfuerzo de diseño del material utilizado para el eje en kg/m^2 y se estima como un 20% del valor del esfuerzo de fluencia del material seleccionado S_y , cuando se utiliza con canal de chavetero Según (Hernández & Idacochea, 1988) página 33.

M_{max} : Momento flector máximo que se presenta en el eje en Kg-m o N-m.

T_{max} : Torque máximo que se presenta en el eje en Kg-m o N-m.

$$S_d = 0,2 * 310$$

$$S_d = 62 \text{ MPa} \text{ ó } 632 \text{ kg}/\text{cm}^2$$

Reemplazando:

$$\emptyset_{eje}^3 = \frac{\pi}{\pi * 632 * 10000} \sqrt{(1,5 * 68,14 \text{ kg.m})^2 + (80,16 \text{ kg.m})^2}$$

$$\emptyset_{eje}^3 = 1,05 \times 10^{-4}$$

$$\emptyset_{eje} = 0,047 \text{ m}$$

El valor del diámetro se ajusta a un valor estándar que exista en el catálogo de rodamientos.

En este caso se ajusta a 0,05 m.

Ajuste y tolerancia.

Para este eje tanto para el rodamiento se seleccionó un ajuste, H7/h6, las cuales también están descritas en el cálculo del rodamiento ver en anexo 10.

Velocidades críticas:

Para determinar velocidades críticas:

$$N_{crit} = \frac{29,88}{\sqrt{y}}$$

Donde:

$$y = \frac{Fr * lo^3}{48 * E * I}$$

E : Es el módulo de elasticidad del acero = 207 GPa o $2,11 \times 10^{10} \frac{kg}{m^2}$

I : Es el momento de inercia de la sección del eje en m^4

Fr= fuerza resultante en el eje.

lo = longitud del eje = 1.3 m

Del diagrama ortogonal de momento flector máximo se tiene:

$$M_{max} = 668,5 Nm$$

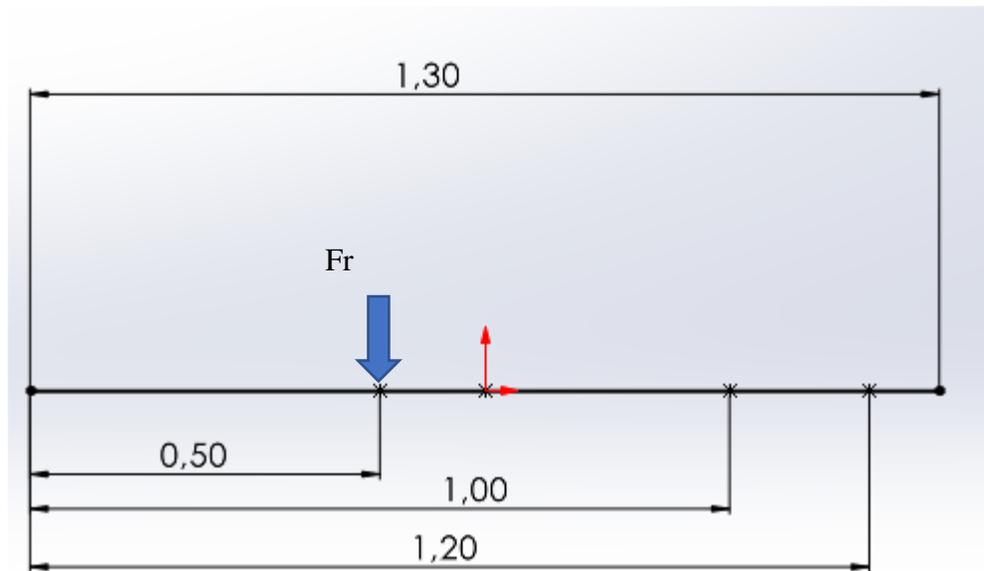


Figura 34. Diagrama de cuerpo libre para calcular la fuerza resultante

Momento:

$$M = f * d$$

Despejando la fuerza resultante f:

$$f = \frac{M}{\Phi_{eje}} = \frac{705.3Nm}{0.5m} = 1337 N \text{ ó } 136,3 kgf$$

Momento de inercia del eje: $I = \frac{\pi * d^4}{64}$

Φ_{eje} = diámetro del eje.

$$I = \frac{\pi * (0,05m)^4}{64}$$

$$I = 3,07 \times 10^{-7} m^4$$

Ahora

$$y = \frac{Fr * l_0^3}{48 * E * I} = \frac{136,3 \text{ kg} * (1,3\text{m})^3}{48 * 2,11 \times 10^{10} \text{ kg/m}^2 * 3,07 \times 10^{-7} \text{ m}^4}$$

$$y = 9,63 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Velocidad critica Según (Hernández & Idacochea, 1988) página 50.

$$N_{crit} = \frac{29,88}{\sqrt{y}} = \frac{29,88}{\sqrt{9,63 \times 10^{-4} \text{ m}}}$$

$$N_{crit} = 963 \text{ rpm}$$

Esto quiere decir que es diámetro del eje es adecuado, debido a que este girara a 360 rpm y la primera velocidad critica es 935,6 rpm, por lo tanto, confirma que el diámetro de 50 mm es el adecuado.

Cálculo de rodamientos:

Para el diseño de los soportes de rodamiento se requiere determinar las dimensiones del rodamiento que se utilizará. Para ello es necesario seleccionarlo tomando como referencia su capacidad de base dinámica, que está dada Según (Hernández & Idacochea, 1988) página 51:

$$C = (X F_o + Y F_a) \left[\frac{60 * N * Lh}{10} \right]^P$$

Donde:

C : es la capacidad de base dinámica requerida para el rodamiento, expresada en KN.

X : Es un coeficiente radial del rodamiento, considerado como 1.

F_a : Carga axial igual a 0.

N : Es el número de revoluciones por minuto a las que gira la turbina.

Lh : Es la duración nominal en horas de funcionamiento.

P : Es 1/3 para rodamientos de bolas y 3/10 para rodamientos de rodillos.

F_o : Es la carga radial sobre el rodamiento, determinada del diagrama de fuerza y momento.

Rodamiento seleccionado.

Rodamientos de bolas a rotula.

Designación del rodamiento.

*6210.

Para un diámetro de eje de 50 mm.

$C = 37,1$ KN.

$C_o = 23,2$ KN.

Vida nominal = L10.

Tiempo estimado de vida 3 años operando, alrededor de 16 h por día los 7 días de la semana.

$$L_{10} = 3 \text{ años} * 365 \frac{\text{días}}{\text{año}} * \frac{16 \text{ horas}}{1 \text{ día}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} * \frac{345 \text{ rev}}{\text{min}}$$

$$L_{10} = 362,7 \text{ millones de revoluciones}$$

Selección de rodamiento en B.

Se calcula primero este rodamiento, porque este soporta la mayor carga. Con esto se dice que este rodamiento este sirve tanto para el punto A. este rodamiento debe soportar deflexión en el eje, también sus dimensiones soportan mejor las cargas, prolongado la vida de este. También calculado mediante la app de SKF ver anexo 10.

Rodamiento de bolas de rotula K=3.

Carga radial = 4163,5 N.

Carga dinámica equivalente.

$$P = Fr = 4163,5 \text{ N}$$

Capacidad de carga dinámica que debe tener el rodamiento.

$$C^* = L_{10}^{1/k} * P = 362,7^{\frac{1}{3}} * 4163,5 \text{ N}$$

$$C^* = 29692,1 \text{ N}$$

Se verifico que se cumpla lo siguiente.

$$C > C^*$$

$$37100 \text{ N} > 29692,1 \text{ N}$$

Vida real del rodamiento.

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^K = \left(\frac{37100}{4163,5}\right)^3$$

$$L_{10} = 707,5 \text{ millones de revoluciones}$$

Se convierte los millones de revoluciones a años, para obtener su vida real.

$$\frac{707,5 \text{ millones de revoluciones}}{365 \frac{\text{días}}{\text{año}} * \frac{16 \text{ horas}}{1 \text{ día}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} * \frac{360 \text{ rev}}{\text{min}}}$$

Equivalente a 5,6 años de vida para este rodamiento.

También se anexan los resultados obtenidos por el aplicativo de SKF, los cuales se pueden observar en el anexo 10.

Sistema de transmisión de potencia:

Para la transmisión de potencia desde la turbina al generador, se empleará correas planas debido a la potencia transmitida tanto como a la razón de velocidad, para esto se tiene que:

Revoluciones de:

Turbina 360 rpm.

Generador 1800 rpm.

Con base en la norma ISO 22:1991 en la cual se estandarizan los valores de las poleas, para esta razón de velocidades que se tiene, la cual es 5, se toman valores de 200mm y 1000mm respectivamente.

Sistema de transmisión abierto, posición del eje horizontal:

Siguiente a esto se ingresa a la aplicación del fabricante habasit, el cual requiere ciertos datos tales como (potencia a transmitir, diámetro de poleas, distancia entre centros, tipo de banda, factor de seguridad). Con estos valores ingresados esta realiza el cálculo para determinar si la banda seleccionada es la adecuada para la transmisión de la potencia.

También se anexan los resultados obtenidos en la app de habasit, en sistema métrico. Estos se pueden observar en el anexo 11 Para la adquisición de la correa, se vende a la medida deseada, asimismo la longitud, el método de empalme lo realiza el distribuidor presente en Colombia.

Selección sistema de fijación de la turbina al eje:

De la tabla 7.6 Budynas (2012), se seleccionó el tamaño de la cuña, con base en el valor del diámetro del eje hallado anteriormente.

Para un $d = 50$ mm.

Tamaño del cuñero: $W_c = \frac{1}{4} \text{ o } 6,35 \text{ mm}$ $H_c = \frac{1}{4} \text{ o } 6,35 \text{ mm}$

Tabla 8. Material del cuñero

	EJE	CUÑA	TURBINA
MATERIAL	1045 HR	1030 HR	Fundición gris
DUREZA	163 HB	137 HB	>156 HB
S_y	310 Mpa	260 Mpa	

$$T_{max} = \frac{974 * 29,63kw}{345rpm} = 80,16 \text{ kgm ó } 786,4 \text{ Nm}$$

Fuerza en la superficie del eje:

Donde:

F : Fuerza en la superficie del eje.

T : Torque máximo.

r : Radio del eje.

$$F = \frac{T}{r}$$

$$F = \frac{786,4 \text{ Nm}}{0.025\text{m}} = 31456 \text{ N}$$

Falla por cortante:

$$\frac{S_{sy}}{n} = \frac{F}{H_c * l}$$

Donde:

S_{sy} : Resistencia al cortante.

F : fuerza en la superficie del eje.

n : Factor de seguridad.

H_c : Espesor de la cuña.

l : Longitud de la cuña.

Resistencia al cortante:

$$S_{sy} = 0,557S_y$$

S_y : Resistencia a la fluencia del material seleccionado para el cuñero.

$$S_{sy} = 0,577(260MPa)$$

$$S_{sy} = 150 MPa$$

Despejando el valor de longitud:

$$l = \frac{F * n}{H_c * S_{sy}}$$

$$l = \frac{31456 N * 1,5}{6,3 \times 10^{-3} m * 150 \times 10^6 Pa}$$

$$l = 50 \times 10^{-3} m$$

Falla por aplastamiento:

Resistencia al cortante.

$$\frac{S_y}{n} = \frac{F}{(W_c * l) / 2}$$

Donde:

S_y : Resistencia a la fluencia del material seleccionado para el cuñero.

F : Fuerza en la superficie del eje.

n : Factor de seguridad.

H_c : Espesor de la cuña.

l : Longitud de la cuña.

Despejando el valor de longitud:

$$l = \frac{2 * F * n}{W_c * S_y}$$

$$l = \frac{2 * 31456 \text{ N} * 1,5}{6,3 \times 10^{-3} \text{ m} * 260 \times 10^6 \text{ Pa}}$$

$$l = 60 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Se toma el mayor valor de la longitud calculada entre falla por cortante y falla por aplastamiento. Para la selección de la longitud del cuñero en este caso 60 mm.

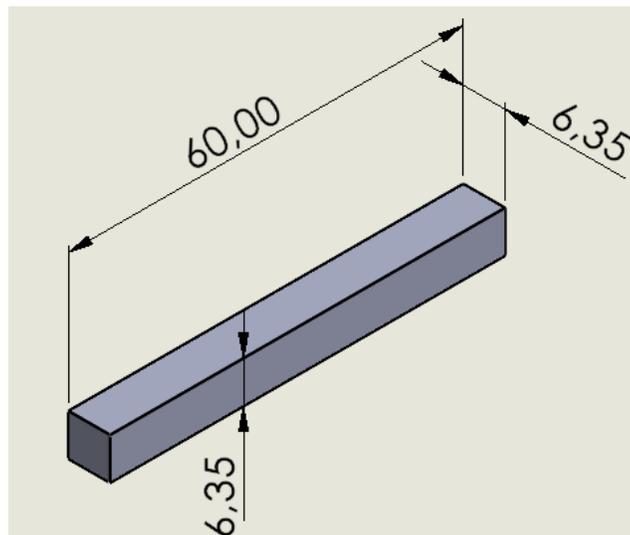


Figura 35. Vista isométrica del cuñero de la rueda Pelton

Cálculo del sistema de fijación para la polea motriz:

De la tabla 7.6 Budynas (2012), se seleccionó el tamaño de la cuña, con base en el valor del diámetro del eje hallado anteriormente.

Tabla 9. Cálculo del sistema de fijación para la polea motriz

	EJE	CUÑA	TURBINA
MATERIAL	1045 HR	1010 CD	Fundición gris
DUREZA	163 HB	105 HB	>156 HB
S_y	310 MPa	300 MPa	

Falla por cortante:

$$\frac{S_{sy}}{n} = \frac{F}{H_c * l}$$

Donde:

S_{sy} : Resistencia al cortante.

F : Fuerza en la superficie del eje.

n : Factor de seguridad.

H_c : Espesor de la cuña.

l : Longitud de la cuña.

Resistencia al cortante:

$$S_{sy} = 0,557S_y$$

S_y : Resistencia a la fluencia del material seleccionado para el cuñero.

$$S_{sy} = 0,577(300MPa)$$

$$S_{sy} = 173,1 MPa$$

Despejando el valor de longitud:

$$l = \frac{F * n}{H_c * S_{sy}}$$

$$l = \frac{31456 N * 1,5}{6,3 \times 10^{-3} m * 173,1 \times 10^6 Pa}$$

$$l = 42 \times 10^{-3} m$$

Falla por aplastamiento:

$$\frac{S_y}{n} = \frac{F}{(W_c * l) / 2}$$

Donde:

S_y : Resistencia a la fluencia del material seleccionado para el cuñero.

F : Fuerza en la superficie del eje.

n : Factor de seguridad.

H_c : Espesor de la cuña.

l : Longitud de la cuña.

Despejando el valor de longitud:

$$l = \frac{2 * F * n}{W_c * S_y}$$

$$l = \frac{2 * 31456 \text{ N} * 1,2}{6,3 \times 10^{-3} \text{ m} * 300 \times 10^6 \text{ Pa}}$$

$$l = 49 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Se toma el mayor valor de la longitud calculada entre falla por cortante y falla por aplastamiento. para la selección de la longitud del cuñero en este caso 49 mm.

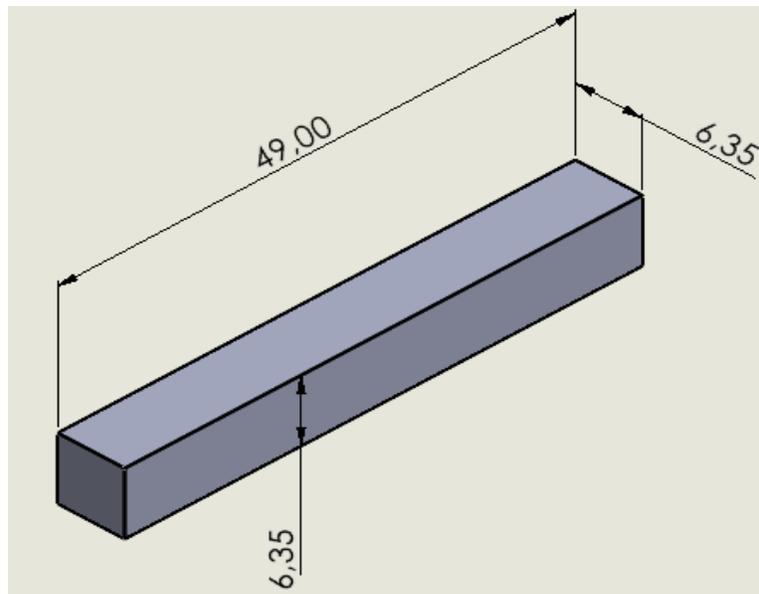


Figura 36. Vista isométrica del cuñero de la polea motriz

Sistema de regulación de velocidad de la microcentral hidroeléctrica:

Un generador síncrono es una maquina síncrona utilizada como generador para convertir la potencia mecánica en potencia eléctrica trifásica, la fuente de potencia mecánica, el motor primario, puede ser un motor Diesel, una turbina de vapor, una turbina hidráulica o un equipo

similar. Cualquiera que sea la fuente, debe cumplir la propiedad básica de que su velocidad sea casi constante, independientemente de la demanda de potencia. Si esto no se cumple, la frecuencia resultante del sistema de potencia podría presentar fallas (Chapman, 2000).

Con base en esta teoría. Se ha planteado para la regulación de velocidad de la turbina Pelton, sistema de regulación manual, el vástago de cada tobera se desplazará mediante una superficie roscada. Este se mantendrá abierta a tope. La regulación de caudal se realizará mediante una válvula de compuerta situada en el fin de la tubería de 10 pulgadas, ubicada dentro de la casa de máquinas, siguiente a esta vendrá un medidor de flujo electromagnético, el cual indicara cual será el caudal que pasa por esta tubería, esta válvula se abrirá hasta que el medidor de flujo indique el caudal requerido para generar la potencia deseada. Después de el medidor electromagnético vendrá la válvula en “Y” la cual distribuirá el fluido para cada tobera ver figura 38. Esto con la finalidad de evitar variaciones de potencia y saltos de corriente. En el eje de la turbina contara con un tacómetro. La función de este dispositivo será corroborar que los rpm de la rueda Pelton sean las adecuadas, para evitar una sobre velocidad en el alternador lo cual lo llevaría a fallar.



Figura 37. Codo a 60° más sistema de regulación de la tobera de la microcentral hidroeléctrica



Figura 38. Accesorio de distribución hacia cada tobera

Análisis a fatiga del eje:

Para seleccionar el diámetro del eje no basta con hacerlo a carga estática, se hace necesario realizar un análisis a fatiga, que es donde se toman en cuenta diversos factores que emulan las condiciones a las cuales estará sometido el eje y nos da un valor límite de resistencia a la fatiga, mientras nuestro diseño este por debajo de este no habrá fallas en el eje. Marin identificó los factores y los agrupo en una ecuación que lleva su nombre:

Ecuación de Marín según (Budynas, 2012) pág. 273:

$$S_e = K_a * K_b * K_c * K_d * K_e * K_f * S_e'$$

Donde:

K_a : Factor de modificación por condición superficial.

K_b : Factor de modificación por tamaño.

K_c : Factor de modificación por la carga.

K_d : Factor de modificación por temperatura.

K_e : Factor de confiabilidad.

K_f : Factor de modificación por efectos varios.

S_e : Límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria.

S_e' : Límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica de una parte de maquina en la geometría y condición de uso.

$$K_a = a * S_{ut}^b$$

Donde:

a : Factor obtenido de tabla 6-2 de shigley.

b : Factor obtenido de tabla 6-2 de shigley.

S_{ut} : Resistencia a la tensión del material del eje.

$$K_a = 57,7 * 570^{-0,718}$$

$$K_a = 0,61$$

$$k_b = 1,24d^{-0,107}$$

$$k_b = 0,82$$

$$k_c = 1$$

$$K_d = 1$$

$$K_e = 1 - 0,08z_a$$

Donde:

z_a : Variación de transformación obtenida de tabla 6-5 shigley.

Se toma una confiabilidad de 95% entonces:

$$K_e = 0,868$$

Factor debido al cuñero:

$$K_f = 1,5$$

$$S_e' = 0,5S_y$$

$$S_e' = 0,5(310MPa)$$

$$S_e' = 155 MPa$$

Entonces:

$$S_e = K_a * K_b * K_c * K_d * K_e * K_f * S_e'$$

Reemplazando:

$$S_e = 0,61 * 0,82 * 1 * 1 * 0,868 * 1,5 * 155MPa$$

$$S_e = 100,9 MPa$$

Se empleó Goodman modificado para el cálculo de la carga a fatiga del eje.

La ecuación de Goodman modificado dice que:

$$n_f = \frac{1}{\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}}}$$

Donde:

σ_a : Esfuerzo de amplitud.

σ_m : Esfuerzo medio.

S_{ut} : Resistencia a la tensión del material del eje.

S_e : Límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria.

Esfuerzo de amplitud:

$$\sigma_a = (\sigma_{xa}^2 + 3 * \tau_{xya}^2)^{1/2}$$

Donde:

σ_{xa} : Esfuerzo a flexión.

τ_{xya} : Esfuerzo torsión.

$$\sigma_a = \left[\left(\frac{32 * M}{\pi * d^3} \right)^2 + 3 \left(\frac{16 * \tau}{\pi * d^3} \right)^2 \right]^{1/2}$$

Se tiene que:

M : Momento flector (N.m).

τ : Momento torsor (N.m).

d : Diámetro del eje (m).

Reemplazando:

$$\sigma_a = \left[\left(\frac{32 * 668,5 \text{ N.m}}{\pi * (0,05 \text{ m})^3} \right)^2 + 3 \left(\frac{16 * 786,8 \text{ N.m}}{\pi * (0,05 \text{ m})^3} \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$\sigma_a = 77,8 \text{ MPa}$$

Esfuerzo medio:

El esfuerzo medio es igual a cero debido a que la carga es constante y la velocidad de trabajo es constante.

Reemplazando en la ecuación de Goodman modificado:

$$n_f = \frac{1}{\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}}}$$

$$n_f = \frac{1}{\frac{77,8 \text{ MPa}}{100,9 \text{ MPa}} + \frac{0}{540 \text{ MPa}}}$$

$$n_f = 1,3$$

Factor a y b para determinar el número de ciclos:

$$a = \frac{(f * S_{ut})^2}{S_e}$$

Donde:

f : Fracción de resistencia a la fatiga tomado de (Budynas, 2012).

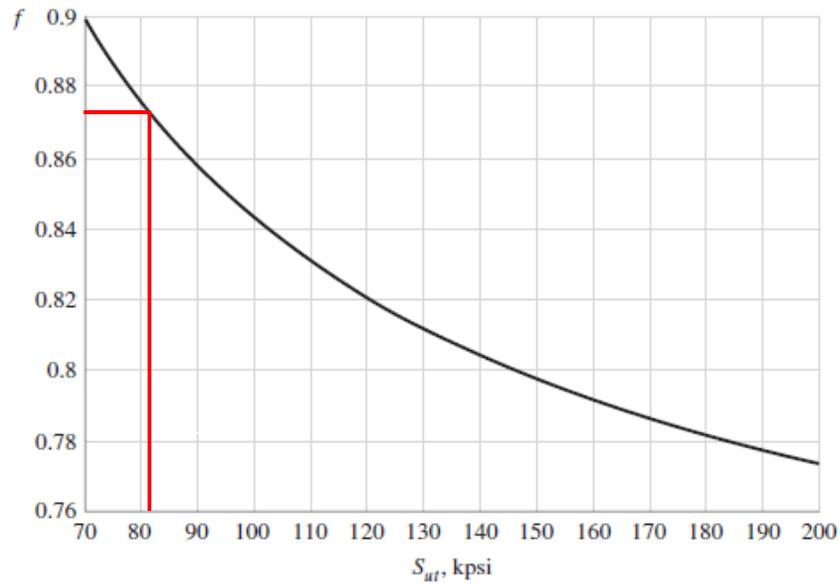


Figura 39. Fracción de resistencia a la fatiga

Fuente: Budynas & Nisbett, 2012.

S_{ut} : Resistencia a la tensión del material del eje.

S_e : Límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria.

$$a = \frac{(0,87 * 570 \text{ MPa})^2}{100,9 \text{ MPa}}$$

$$a = 2437,2 \text{ MPa}$$

Factor b:

$$b = -\frac{1}{3} \log \left[\frac{f * S_{ut}}{S_e} \right]$$

$$b = -\frac{1}{3} \log \left[\frac{0,87 * 570 \text{ MPa}}{100,9 \text{ MPa}} \right]$$

$$b = -0,23$$

Numero de ciclos soportados por el eje.

$$N = \left(\frac{\sigma_{rev}}{a} \right)^{1/b}$$

σ_{rev} : Esfuerzo reversible.

a : factor.

b : factor.

Esfuerzo reversible.

$$\sigma_{rev} = \frac{\sigma_a}{1 - \frac{\sigma_m}{S_{ut}}}$$

Donde:

σ_a : Esfuerzo de amplitud.

σ_m : Esfuerzo medio.

S_{ut} : Resistencia a la tensión del material del eje.

Reemplazando:

$$\sigma_{rev} = \frac{77,8 \text{ MPa}}{1 - \frac{0}{570 \text{ MPa}}}$$

$$\sigma_{rev} = 77,8 \text{ MPa}$$

Reemplazando:

$$N = \left(\frac{77,8 \text{ MPa}}{2437,2 \text{ MPa}} \right)^{1/-0,23}$$

$$N = 3 \times 10^6 \text{ ciclos}$$

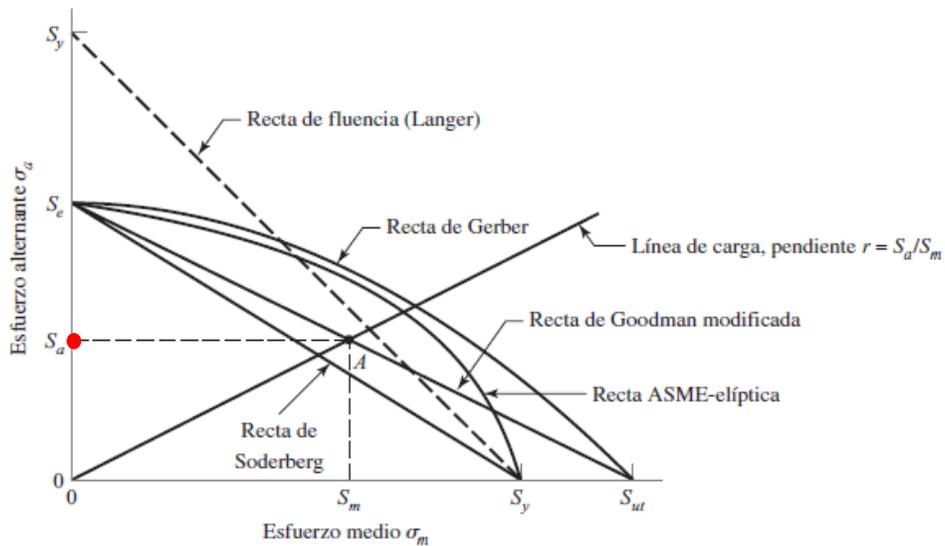


Figura 40. Diagrama de fatiga donde se proporcionan varios criterios de falla

Fuente: Budynas, 2012.

El punto rojo como se observa en la figura 36, indica el valor del esfuerzo a la fatiga a la cual estará sometido al eje, tal indica este se encuentra en un rango por debajo del valor de límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria (S_e), de lo cual se concluye que este está diseñado a vida infinita.

Cálculo de sistema de sujeción para la tubería de las toberas de la turbina Pelton.

En esta sección se buscó calcular el mínimo de pernos que deben llevar la tubería de las toberas, con el fin de contener la presión, que allí manejan.

Sujetadores roscados:

Se inicio seleccionando el tamaño del perno.

M16 X2.

Procedimiento para determinar la rigidez del sujetador.

Longitud del sujetador.

$$L > l + H_t$$

Donde:

l : Longitud de todo el material apretado.

H_t : Espesor de la tuerca.

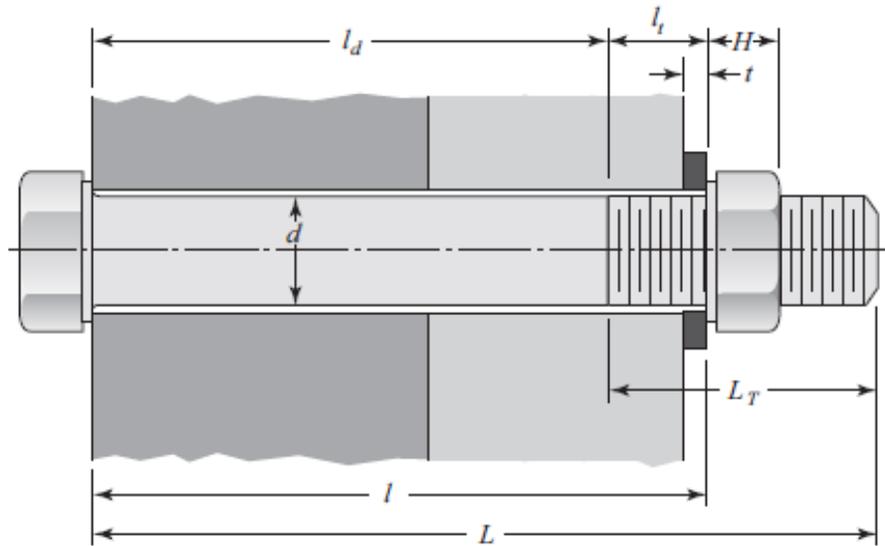


Figura 41. Nomenclatura del sujetador unido por tuerca

Fuente: Budynas, 2012.

En este caso los espesores son del mismo material, y del mismo espesor con valor de 25 mm.

Espesor de la tuerca.

Este se obtiene mediante la tabla mostrada del anexo 12.

$$W_t = 24 \text{ mm}$$

$$H_t = 14,8 \text{ mm}$$

Entonces:

$$L > l + H_t$$

Reemplazando:

$$L = 50 \text{ mm} + 14,8 \text{ mm}$$

$$L = 68 \text{ mm}$$

Pero se debe ajustar a un valor de longitud estándar de tornillo.

El cual fue obtenido del anexo 13.

$$L = 80 \text{ mm}$$

Longitud roscada del tornillo L_t

$$L_t = 2 d_t + 6$$

Donde:

d_t : Diámetro del tornillo.

$$L_t = 2 * 16 \text{ mm} + 6$$

$$L_t = 38 \text{ mm}$$

Longitud de la parte sin rosca en el agarre l_d

$$l_d = L - L_t$$

Donde:

L_t : Longitud roscada del tornillo.

L : Longitud del sujetador.

Reemplazando:

$$l_d = 80 \text{ mm} - 38 \text{ mm}$$

$$l_d = 42 \text{ mm}$$

Longitud del área roscada en el área recta l_r

$$l_r = l - l_d$$

Donde:

l_d : Longitud de la parte sin rosca en el agarre.

l : Longitud de todo el material apretado.

Reemplazando:

$$l_r = 50 \text{ mm} - 42 \text{ mm}$$

$$l_r = 8 \text{ mm}$$

Área de la parte sin roca A_d

$$A_d = \frac{\pi * d_r^2}{4}$$

$$A_d = \frac{\pi * (16 \text{ mm})^2}{4}$$

$$A_d = 201 \text{ mm}^2$$

Área de la parte roscada A_t

En el anexo 14 el valor será de 157 mm^2

Rigidez del sujetador k_b

$$k_b = \frac{A_d * A_t * E}{A_d * l_t + A_t * l_d}$$

Donde:

A_d : Área de la parte sin rosca.

A_t : Área de la parte roscada.

l_d : Longitud de la parte sin rosca en el agarre.

l_t : Longitud del área roscada en el área recta.

E : Modulo de elasticidad del acero.

Reemplazando:

$$k_b = \frac{201 \text{ mm} * 157 \text{ mm} * 207 \text{ GPa}}{201 \text{ mm} * 8 \text{ mm} + 157 \text{ mm} * 42 \text{ mm}}$$

$$k_b = 796,4 \times 10^6 \frac{N}{m}$$

Razón de resorte k_m

$$k_m = \frac{0,5774 * \pi * E}{2 \ln \left(5 \frac{0,5774 l + 0,5 d_t}{0,5774 l + 2,5 d_t} \right)}$$

Donde:

E : Modulo de elasticidad del acero.

l : Longitud de todo el material apretado.

d_t : Diámetro del tornillo.

Reemplazando:

$$k_m = \frac{0,5774 * \pi * 207 \text{ GPa}}{2 \ln \left(5 \frac{0,5774 * 50 \text{ mm} + 0,5 * 16 \text{ mm}}{0,5774 * 50 \text{ mm} + 2,5 * 16 \text{ mm}} \right)}$$

$$k_m = 3 \times 10^9 \frac{N}{m}$$

Constante de rigidez:

$$C_r = \frac{K_b}{K_b + K_m}$$

Donde:

k_m : Razón de resorte

k_b : Rigidez del sujetador

Reemplazando:

$$C_r = \frac{796,4 \times 10^6 \frac{N}{m}}{796,4 \times 10^6 \frac{N}{m} + 3 \times 10^9 \frac{N}{m}}$$

$$C_r = 0,21$$

Precarga F_i

$$F_i = 0,75 * A_t * S_p$$

Donde:

S_p : Resistencia de prueba mínima obtenido de tabla 8-9 de (Budynas, 2012) ver anexo 15.

A_t : Área de la parte roscada.

Reemplazando:

$$F_i = 0,75 * 157 \times 10^{-4} \text{ m}^2 * 379,2 \text{ MPa}$$

$$F_i = 44,6 \text{ kN}$$

Numero de pernos requeridos N.

$$N = \frac{C * n_L * P}{S_p * (A_t - F_i)}$$

Donde:

C_r : Constante de rigidez.

n_L : Factor de carga.

P : Presión en la tubería.

S_p : Resistencia de prueba mínima.

A_t : Área de la parte roscada

F_i : Precarga

Constante de rigidez

Reemplazando:

$$N = \frac{0,21 * 1,7 * 249,4 \text{ KPa}}{379,2 \text{ MPa} * (157 \times 10^{-4} \text{ m}^2 - 44,6 \text{ kN})}$$

$$N = 5,98$$

Esto da como resultado que la tubería de la tobera requiere un mínimo de 6 pernos con las siguientes características:

Perno SAE 2, Acero de bajo o medio carbono.

Rosca: M16X2.

4.3.5 Mantenimiento preventivo. Una vez teniendo todos los objetos definidos que conforman la central hidroeléctrica se procedió a realizar un plan de mantenimiento preventivo para así evitar, fallas inesperadas y reparaciones sin programar, para así prolongar la vida de este circuito, sin perder eficiencia alguna logrando así una extensa vida del mismo. Estos se podrán observar mediante anexos indicados a continuación.

Para el diseño de este plan de mantenimiento preventivo este baso en cuatro factores:

Ficha técnica de los equipos que componen el circuito hidráulico hasta donde sería la casa de máquinas, con el fin de determinar los objetos de mantenimiento en cada uno de estos ver anexo

16.

Instrucciones técnicas: En este formato se describe a tope los elementos que serán sometidos a mantenimientos, identificando si es de carácter, eléctrico, mecánico, lubricación o pintura, ver anexo 17.

Programación anual de mantenimiento: Se diseña con el fin de aplicar los métodos y tiempos, con el fin de evitar interrupciones en la operación e implementar el mantenimiento preventivo, ver anexo 18.

4.4 Fase 4: Finalización

4.4.1 Definir el impacto financiero del proyecto. Para definir cuál fue el impacto financiero del proyecto, primero se debió seleccionar una actividad la cual siempre fuera constante su consumo, para así obtener una exactitud en el estimado del consumo, para esto se optó como referente el alumbrado público del municipio, ya que en este se puede estimar un consumo fijo de energía por las horas determinadas de funcionamiento del alumbrado público en el municipio de Arboledas.

Para este cálculo se toma del generador seleccionado anteriormente Mecc Alte ECP32 1M4 C. Este produce 29-30 KVa en una corriente monofásica, pero para esto se debe determinar primero cuantos kW entrega el alternador.

Teniendo en cuenta lo anterior se debe realizar la conversión de kVa a kW.

Eficiencia a carga plena:

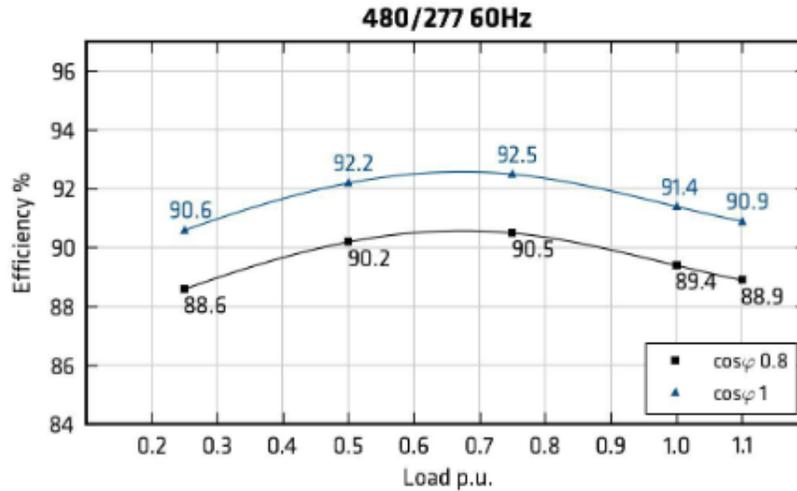


Figura 42. Eficiencia del alternador seleccionado

Potencia nominal: $P_n = 30 \text{ kVa}$

A carga plena la eficiencia será de $\eta = 0,9$

$$P_R = 30 \text{ kVa} * 0,9$$

$$P_R = 27 \text{ kVa}$$

Utilizando un factor de potencia de $F_p = 0,8$

$$kW = kVa * F_p = 27kVa * 0,8 = 21,6 \text{ kW}$$

Potencia nominal: $P_n = 21,6 \text{ KW}$

Con base en la potencia a carga del 90% se procede a calcular el número de bombillas LED que soporta este sistema, no se usa la potencia nominal debido a que no se debe trabajar el generador al 100%, esto con el fin de mantener una seguridad en el sistema y mantener la vida útil del generador.

Las bombillas LED del municipio de arboledas tienen una potencia de: $P_b = 50 W$

$$N_b = \frac{P_{0.9}}{P_b}$$

$$N_b = \frac{21600 W}{50 W}$$

$$N_b = 432 \text{ bombillas}$$

Actualmente el municipio cuenta con 190 bombillas en la zona urbana, con lo cual el diseño planteado satisface la necesidad de cubrir a totalidad el alumbrado público, adicionalmente a esto se podría aprovechar el restante de potencia eléctrica generada y solventar otro sistema en particular, siempre que no sobrecargue el sistema, para esto se calculó cuanto será la potencia que quedara del alumbrado público.

$$N_b = \frac{P_u}{P_b}$$

Como conocemos el número de bombillas y su potencia eléctrica se despeja la potencia: P_u usada en este sistema.

$$P_u = N_b * P_b$$

$$P_u = 190 * 50 W$$

$$P_u = 9500 W$$

Con el valor de la potencia generada y la potencia usada, se halla la potencia que me queda disponible.

$$P_d = P_{0.9} - P_u$$

$$P_d = 21600 W - 9500 W$$

$$P_d = 12100 W$$

Estos kW restantes tienen libre destinación, para ser empleados en otros procesos que se ejecutan en el municipio.

4.4.2 Socialización del proyecto. Los resultados obtenidos, en los cálculos del diseño de una microcentral hidroeléctrica sobre la quebrada la monar en el casco urbano del municipio de arboledas, fueron socializados en compañía de un funcionario de planeación municipal de la alcaldía de Arboledas. Dirigido especialmente a los oyentes, a través de la emisora comunitaria “Arboledas estéreo 105.2 FM”, en el programa institucional de la alcaldía, que es emitido todos los viernes a las 7 pm. Esta socialización desata un alto grado de admiración en los moradores del municipio de arboledas, los cuales eran poco crédulos con el desarrollo de este modelo, debido a tantas promesas realizadas por anteriores visitantes. Este genera sentido de pertenencia entre sus habitantes. Despertando orgullo por la tierra



Figura 43. Sustentación del diseño de la microcentral hidroeléctrica

5. Conclusiones

Con el desarrollo de este proyecto se evidencia que por medio de la aplicación de la ingeniería se pueden utilizar recursos naturales, los cuales no son aprovechados esto sin tener noción alguna del costo beneficio que este puede tener, y así dar un alivio a la carga financiera de las comunidades.

Con la creación de la microcentral hidroeléctrica, no solo se crea una fuente de ingresos al municipio, se crea una empresa que con ella conlleva la creación de empleos de los cuales se beneficiaran sus habitantes.

Se dio un paso importante con respecto a la implementación del mantenimiento preventivo, esto con el fin de promover esta cultura. Pero también se busca como principal objetivo, evitar el acelerado deterioro que tienen los equipos debido a la ausencia del mantenimiento preventivo.

Con la programación anual de mantenimiento, se pone en práctica los métodos y tiempos, con el fin de evitar a toda costa las paradas inesperadas, sin alterar la producción estimada en su diseño.

Este proyecto impulsa a los moradores del municipio de arboledas, a creer en ellos mismos, a los estudiantes de cualquier facultad que seas oriundos de este tanto de otros municipios, a trabajar en pro de su municipio, tener sentido de pertenencia, el cual tiene un alto potencial en cuanto a recursos naturales y calidad de vida.

6. Recomendaciones

Al momento de ejecutar este proyecto se recomienda volver a realizar las mediciones de caudal, esto debido a que su estado puede variar los parámetros obtenidos. Asimismo, se recomienda realizar reparaciones a lo largo del canal, con el fin de evitar pérdidas del fluido por filtraciones. La restauración e implementación de los tamices, garantiza que el fluido pueda transitar sin hojas, ramas y fauna, las cuales son comunes dado a que es un canal a cielo abierto, con el fin de no obstaculizar las toberas.

Se debe buscar la forma de aumentar el caudal mediante la adecuación del pozo de captación, en el cual se aumente su profundidad, esto incrementaría el volumen de agua que manejaría la canal, logrando así un mayor caudal. Lo cual influye directamente en la generación de energía.

Se recomienda seguir como mandan los cánones el plan de mantenimiento propuesto, con el fin de garantizar una buena vida y eficiencia a los equipos que componen la microcentral. Estos se deben realizar en las horas de pausa, para evitar afectar la producción energética.

Al momento de ejecutar los estudios se recomienda seguir el mismo manual empleado para el diseño de la microcentral hidroeléctrica.

Se sugiere ampliar el tanque de almacenamiento, debido a que este se encuentra muy al límite del caudal requerido. Esto da una confiabilidad mayor, evita que llegue sedimento y mugre a las toberas, ya que esto baja su eficiencia.

El proceso de instalación y montaje de los equipos, tanto de la puesta a punto debe ser realizada por personal capacitado.

Se recomienda no emplear el uso sistemas electrónicos o electrodomésticos, debido a que su regulación por ser manual puede presentarse saltos de frecuencia, producidos por la variación de la velocidad en la turbina. lo cual serian nocivos para estos equipos.

7. Referencias Bibliográficas

- Agudelo, S., Chica, E., Obando, F., Sierra, N., Velásquez, L. & Enríquez, W. (2013). Diseño, simulación, fabricación y caracterización de una turbina tipo Pelton de 5 kW. *Ingeniería y Competitividad*, 4(2), 1-16. Recuperado de: https://revistaingenieria.univalle.edu.co/index.php/ingenieria_y_competitividad/article/view/2631/3477
- Arango, P. & Maya, P. (2015). Esquema de micro-generación hidroeléctrica a escala municipal caso jardín, Antioquia. Tesis de maestría. Universidad EIA. Medellín, Colombia.
- Aris, J. (2014). Diseño construcción y pruebas de turbina Pelton para microgeneración hidráulica. Tesis de maestría. Universidad de Chile. Santiago de Chile, Chile.
- Banco Mundial. (2020). Colombia: panorama general. Recuperado de: <https://www.bancomundial.org/es/country/colombia/overview>
- Biomass Users Network (BUN-CA). (2002). Manuales sobre energía renovable hidráulica a pequeña escala. Recuperado de: <https://cidoc.marn.gob.sv/documentos/manuales-sobre-energia-renovable-hidraulica-a-pequena-escala/>
- Bohórquez, A. (2018). Microturbina Pelton, una solución real de energía para zonas no interconectadas (ZNI). *Tecnologías de Avanzada*, 1(3), 1-15. <https://doi.org/10.24054/16927257.v31.n31.2018.2768>
- Bohórquez, A., Guerrero, G. & Cabellos, M. (2016). Micro central hidroeléctrica para la institución educativa San Alberto no 2 del municipio de Toledo Norte de Santander. *Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería*, 1(4), 12-60. Recuperado de: <https://acofipapers.org/index.php/eiei/article/view/996>

Budynas, R. & Nisbett, K. (2012). Diseño en ingeniería mecánica de Shigley. México: Mc Graw Hill.

Chapman, S. (2000). Maquinas eléctricas. Bogotá: Mc Graw Hill.

Contreras, T. (2005). Monografía Arboledas. Recuperado de: <https://www.pressreader.com/colombia/la-opinion-imagenes/20181125/281500752303562>

Forero, J., Moreno, J. & Neuta, S. (2019). Elaboración de un prototipo de turbina tipo Pelton para el laboratorio de hidráulica de la Universidad Cooperativa de Colombia sede Villavicencio mediante métodos estandarizados de diseño de estructuras hidráulicas. Tesis de grado. Universidad Cooperativa de Colombia. Bogotá, Colombia.

Goyeneche, P. (2020). La planta eléctrica. Recuperado de: https://www.cne.cl/wp-content/uploads/2020/01/Informe-Propuesta-de-Expansi%C3%B3n-2020_22.01.2020.pdf

Hernández, A. & Idacochea, E. (1988). Apuntes para un manual de diseño, estandarización y fabricación de equipos para pequeñas centrales hidroeléctricas. Quito: OLADE.

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. (2006). Minicentrales hidroeléctricas. Recuperado de: <https://www.idae.es/publicaciones/minicentrales-hidroelectricas>

Mataix, C. (1986). Mecánica de fluidos y maquinas hidráulicas. Madrid: Castillo.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2020). Política Nacional de Cambio Climático. Recuperado de: <https://www.minambiente.gov.co/index.php/politica-nacional-de-cambio-climatico>

Mott, R. (2006). Mecánica de fluidos. México: PEARSON.

Niño, D. (2016). Diagnóstico y análisis de la instalación eléctrica de una clínica de nivel II. Tesis de grado. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogota, Colombia.

Solano, F. & Bolivar, C. (2015). Diseño de una pico central hidroeléctrica para la generación de energía en el bloque A de la Universidad Libre sede bosque popular. Tesis de maestría. Universidad Libre. Bogota, Colombia.

Spotts, M. & Shoup, T. (1999). Elementos de maquinas. Recuperado de:
https://www.academia.edu/7920744/541214_ELEMENTOS_DE_MAQUINAS

Tavares, A. (1996). Administración moderna de mantenimiento. Brasil: Novo Polo.

Anexos

Anexo 1. Normativa Ministerio de Minas y Energía



Ministerio de Minas y Energía
 Origen: DIRECCION DE ENERGIA ELECTRICA
 Rad: 2-2020-019781 02-11-2020 09:15:32 PM
 Anexos: 0
 Destino: UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER
 Serie: 320.30 - DERECHOS DE PETICION

32

Acceso: Reservado (), Público (X), Clasificada ().

Bogotá, D.C.

Señor
Johan Sebastian Dallos Avellaneda
 johansebastianda@ufps.edu.co

Asunto: Respuesta a comunicación, Radicado 1-2020-047700

Apreciado Señor Dallos,

En atención a su comunicación con radicado 1-2020-047700 nos permitimos responder:

El Ministerio de Minas y Energía tiene como misión “Formular y adoptar políticas dirigidas al aprovechamiento sostenible de los recursos mineros y energéticos para contribuir al desarrollo económico y social del país”.

Para el desarrollo de cualquier proyecto relacionado con energía eléctrica, deben cumplirse ciertos trámites ambientales y sociales, cuya competencia dependiendo de la escala del proyecto, corresponde a las Corporaciones Ambientales Regionales o a la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales - ANLA, y para los temas sociales como consultas previas al Ministerio del Interior. De esta manera, ningún proyecto se puede desarrollar sin cumplir con cualquiera de los requisitos, por lo contrario, en cada una de las etapas que se requieren debe realizarse el análisis de impacto y compensación a los que debe hacerse acreedor cada promotor.

Para pequeños proyectos de FNCER aplica la resolución CREG 030 del 2018, la cual en su artículo 1 expresa: “Mediante esta resolución se regulan aspectos operativos y comerciales para permitir la integración de la autogeneración a pequeña escala y de la generación distribuida al Sistema Interconectado

Página 1 de 3

En Minenergía todos los trámites son gratuitos.

Reporte cualquier irregularidad en el correo electrónico lineaetica@minenergia.gov.co
 Calle 43 No. 57 - 31 CAN Bogotá, Colombia - Código Postal 111321
 Conmutador (57 1) 2200300 - Línea gratuita nacional 01 8000 910180
www.minenergia.gov.co





Nacional, SIN". Esta resolución define las Fuentes No Convencionales de Energía Renovable – FNCER como “Son las fuentes no convencionales de energía renovables tales como la biomasa, los pequeños aprovechamientos hidroeléctricos, la eólica, la geotérmica, la solar y los mares.”

Para proyectos de mayor escala en cuanto a los puntos de conexión, es la Unidad de Planeación Minero Energética - UPME, la encargada de realizar su análisis y aprobación. Algunas de las actividades generales necesarias para el proceso de aprobación de punto de conexión se relacionan en el siguiente link:

https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/SSPD%20Publicaciones/Publicaciones/2018/Oct/manualasignacionpuntosconexion_versionpublicacion.pdf

Para mayor información podrá consultar a las entidades competentes para que se ilustre sobre el detalle de los procesos.

En conclusión, los detalles regulatorios energéticos, sociales y ambientales dependen del tipo y escala del proyecto.

El presente concepto se emite conforme a lo dispuesto en el artículo 28 de la Ley 14 37 de 2011 -Código de Procedimiento Administrativo y de lo Contencioso Administrativo CPACA., sustituido por el artículo 1 de la Ley 1755 de 2015, el cual señala: "Salvo disposición legal en contrario, los conceptos emitidos por las autoridades como respuestas a peticiones realizadas en ejercicio del derecho a formular consultas no serán de obligatorio cumplimiento o ejecución.

Adicionalmente se indica que el concepto se profiere en el marco de la situación planteada, para los fines expresamente consultados y se proyecta exclusivamente a la luz de las normas que se encuentran vigentes sobre la materia a la fecha de enviarse el documento y que por lo tanto no admite suposiciones o interpretaciones análogas sobre situaciones de hecho que se le

Página 2 de 3

En Minenergía todos los trámites son gratuitos.

Reporte cualquier irregularidad en el correo electrónico lineaetica@minenergia.gov.co
Calle 43 No. 57 - 31 CAN Bogotá, Colombia - Código Postal 111321
Conmutador (57 1) 2200300 - Línea gratuita nacional 01 8000 910180
www.minenergia.gov.co





parezcan y no tienen carácter obligatorio ni vinculante por tener la naturaleza de concepto jurídico.

Cordialmente,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Luis Julián Zuluaga López', written over a faint grid background.

Luis Julián Zuluaga López
Director de Energía Eléctrica

Anexos: N/A

Copia: N/A

Elaboró: Jhon Fabio Zúñiga 

Revisó: Sandra Salamanca 

Aprobó: Luis Julián Zuluaga

Radicado: 1-2020-047700

TRD: 0.32 N/A

Página 3 de 3

En Minenergía todos los trámites son gratuitos.

Reporte cualquier irregularidad en el correo electrónico lineaetica@minenergia.gov.co
Calle 43 No. 57 - 31 CAN Bogotá, Colombia - Código Postal 111321
Conmutador (57 1) 2200300 - Línea gratuita nacional 01 8000 910180
www.minenergia.gov.co



Anexo 2. Dimensiones tuberías de acero



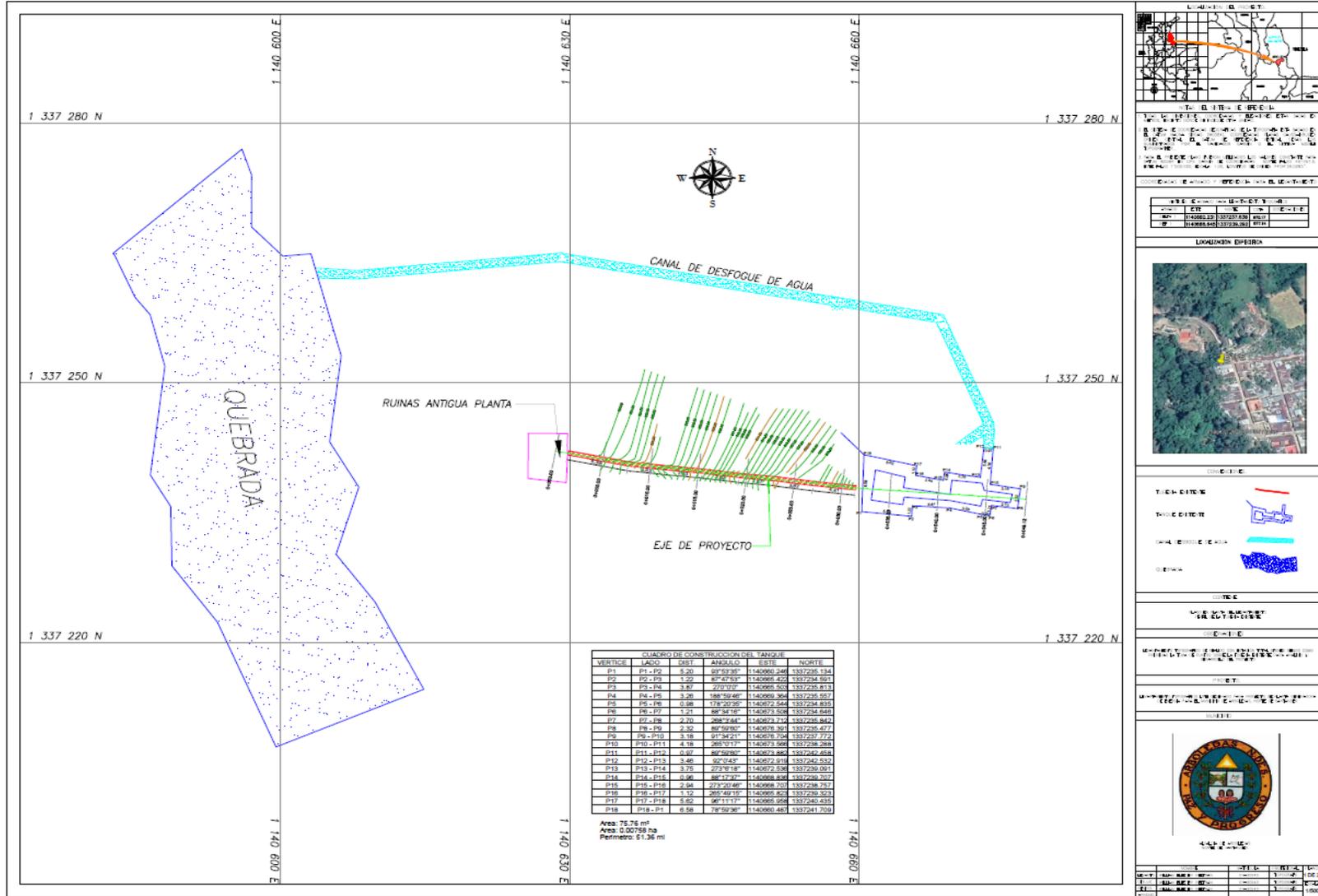
F Dimensiones de tuberías de acero

<http://libreria-universitaria.blogspot.com>

TABLA F.1 Cédula 40.

Tamaño nom. de tubería (pulg)	Diámetro exterior		Espesor de pared		Diámetro interior			Flujo de área	
	(pulg)	(mm)	(pulg)	(mm)	(pulg)	(pies)	(mm)	(pies ²)	(m ²)
1/8	0.405	10.3	0.068	1.73	0.269	0.0224	6.8	0.000 394	3.660×10^{-5}
1/4	0.540	13.7	0.088	2.24	0.364	0.0303	9.2	0.000 723	6.717×10^{-5}
3/8	0.675	17.1	0.091	2.31	0.493	0.0411	12.5	0.001 33	1.236×10^{-4}
1/2	0.840	21.3	0.109	2.77	0.622	0.0518	15.8	0.002 11	1.960×10^{-4}
3/4	1.050	26.7	0.113	2.87	0.824	0.0687	20.9	0.003 70	3.437×10^{-4}
1	1.315	33.4	0.133	3.38	1.049	0.0874	26.6	0.006 00	5.574×10^{-4}
1 1/4	1.660	42.2	0.140	3.56	1.380	0.1150	35.1	0.010 39	9.653×10^{-4}
1 1/2	1.900	48.3	0.145	3.68	1.610	0.1342	40.9	0.014 14	1.314×10^{-3}
2	2.375	60.3	0.154	3.91	2.067	0.1723	52.5	0.023 33	2.168×10^{-3}
2 1/2	2.875	73.0	0.203	5.16	2.469	0.2058	62.7	0.033 26	3.090×10^{-3}
3	3.500	88.9	0.216	5.49	3.068	0.2557	77.9	0.051 32	4.768×10^{-3}
3 1/2	4.000	101.6	0.226	5.74	3.548	0.2957	90.1	0.068 68	6.381×10^{-3}
4	4.500	114.3	0.237	6.02	4.026	0.3355	102.3	0.088 40	8.213×10^{-3}
5	5.563	141.3	0.258	6.55	5.047	0.4206	128.2	0.139 0	1.291×10^{-2}
6	6.625	168.3	0.280	7.11	6.065	0.5054	154.1	0.200 6	1.864×10^{-2}
8	8.625	219.1	0.322	8.18	7.981	0.6651	202.7	0.347 2	3.226×10^{-2}
10	10.750	273.1	0.365	9.27	10.020	0.8350	254.5	0.547 9	5.090×10^{-2}
12	12.750	323.9	0.406	10.31	11.938	0.9948	303.2	0.777 1	7.219×10^{-2}
14	14.000	355.6	0.437	11.10	13.126	1.094	333.4	0.939 6	8.729×10^{-2}
16	16.000	406.4	0.500	12.70	15.000	1.250	381.0	1.227	0.1140
18	18.000	457.2	0.562	14.27	16.876	1.406	428.7	1.553	0.1443
20	20.000	508.0	0.593	15.06	18.814	1.568	477.9	1.931	0.1794
24	24.000	609.6	0.687	17.45	22.626	1.886	574.7	2.792	0.2594

Anexo 3. Planos topográficos



Anexo 4. Rugosidad de diversos materiales

TABLA 8.2 Valores de diseño de la rugosidad de tubos.

Material	Rugosidad ϵ (m)	Rugosidad ϵ (pie)
Vidrio	Liso	Liso
Plástico	3.0×10^{-7}	1.0×10^{-6}
Tubo extruido; cobre, latón y acero	1.5×10^{-6}	5.0×10^{-6}
Acero, comercial o soldado	4.6×10^{-5}	1.5×10^{-4}
Hierro galvanizado	1.5×10^{-4}	5.0×10^{-4}
Hierro dúctil, recubierto	1.2×10^{-4}	4.0×10^{-4}
Hierro dúctil, no recubierto	2.4×10^{-4}	8.0×10^{-4}
Concreto, bien fabricado	1.2×10^{-4}	4.0×10^{-4}
Acero remachado	1.8×10^{-3}	6.0×10^{-3}

Anexo 5. Propiedades del agua



A Propiedades del agua

<http://libreria-universitaria.blogspot.com>

TABLA A.1 Unidades del SI
[101 kPa (abs)].

Temperatura (°C)	Peso específico γ (kN/m ³)	Densidad ρ (kg/m ³)	Viscosidad dinámica η (Pa·s)	Viscosidad cinemática ν (m ² /s)
0	9.81	1000	1.75×10^{-3}	1.75×10^{-6}
5	9.81	1000	1.52×10^{-3}	1.52×10^{-6}
10	9.81	1000	1.30×10^{-3}	1.30×10^{-6}
15	9.81	1000	1.15×10^{-3}	1.15×10^{-6}
20	9.79	998	1.02×10^{-3}	1.02×10^{-6}
25	9.78	997	8.91×10^{-4}	8.94×10^{-7}
30	9.77	996	8.00×10^{-4}	8.03×10^{-7}
35	9.75	994	7.18×10^{-4}	7.22×10^{-7}
40	9.73	992	6.51×10^{-4}	6.56×10^{-7}
45	9.71	990	5.94×10^{-4}	6.00×10^{-7}
50	9.69	988	5.41×10^{-4}	5.48×10^{-7}
55	9.67	986	4.98×10^{-4}	5.05×10^{-7}
60	9.65	984	4.60×10^{-4}	4.67×10^{-7}
65	9.62	981	4.31×10^{-4}	4.39×10^{-7}
70	9.59	978	4.02×10^{-4}	4.11×10^{-7}
75	9.56	975	3.73×10^{-4}	3.83×10^{-7}
80	9.53	971	3.50×10^{-4}	3.60×10^{-7}
85	9.50	968	3.30×10^{-4}	3.41×10^{-7}
90	9.47	965	3.11×10^{-4}	3.22×10^{-7}
95	9.44	962	2.92×10^{-4}	3.04×10^{-7}
100	9.40	958	2.82×10^{-4}	2.94×10^{-7}

Anexo 6. Longitudes equivalentes de tubería

2.3.2 Longitudes equivalentes

Tabla 2.8 Longitudes equivalentes a pérdidas locales (en metros de tubería de hierro fundido). (Azevedo N., J. y Acosta A., G. 1975)

DIAMETRO D mm pulg.	Codo 90° Radio largo		Codo 90° Radio medio		Codo 90° Radio corto		Codo 45°		Curva 90° R/D=1		Curva 90° R/D=1		Curva 45°		Entrada normal	Entrada de Borda	Válvula de compuerta abierta	Válvula tipo globo abierta	Válvula de ángulo abierta	Té paso directo	Té salida lateral	Té salida bilateral	Válvula de pie	Salida de Tubería	Válvula de retención tipo liviana	Válvula de retención tipo pesado	
	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm
13	1/2	0,3	0,4	0,5	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,1	4,9	2,6	0,3	1,0	1,0	3,6	0,4	1,1	1,6	
19	3/4	0,4	0,6	0,7	0,3	0,3	0,4	0,2	0,2	0,2	0,5	0,1	6,7	3,6	0,4	1,4	1,4	5,6	0,5	1,6	2,4	2,4	5,6	0,5	1,6	2,4	
25	1	0,5	0,7	0,8	0,4	0,3	0,5	0,2	0,3	0,3	0,7	0,2	8,2	4,6	0,5	1,7	1,7	7,3	0,7	2,1	3,2	3,2	7,3	0,7	2,1	3,2	
32	1 1/4	0,7	0,9	1,1	0,5	0,4	0,6	0,3	0,4	0,4	0,9	0,2	11,3	5,6	0,7	2,3	2,3	10,0	0,9	2,7	4,0	4,0	10,0	0,9	2,7	4,0	
38	1 1/2	0,9	1,1	1,3	0,6	0,5	0,7	0,3	0,5	1,0	0,3	13,4	6,7	0,9	2,8	2,8	11,6	1,0	3,2	4,8	4,8	11,6	1,0	3,2	4,8		
50	2	1,1	1,4	1,7	0,8	0,6	0,9	0,4	0,7	1,5	0,4	17,4	8,5	1,1	3,5	3,5	14,0	1,5	4,2	6,4	6,4	14,0	1,5	4,2	6,4		
63	2 1/2	1,3	1,7	2,0	0,9	0,8	1,0	0,5	0,9	1,9	0,4	21,0	10,0	1,3	4,3	4,3	17,0	1,9	5,2	8,1	8,1	17,0	1,9	5,2	8,1		
75	3	1,6	2,1	2,5	1,2	1,0	1,3	0,6	1,1	2,2	0,5	26,0	13,0	1,6	5,2	5,2	20,0	2,2	6,3	9,7	9,7	20,0	2,2	6,3	9,7		
100	4	2,1	2,8	3,4	1,5	1,3	1,6	0,7	1,6	3,2	0,7	34,0	17,0	2,1	6,7	6,7	23,0	3,2	6,4	12,9	12,9	23,0	3,2	6,4	12,9		
125	5	2,7	3,7	4,2	1,9	1,6	2,1	0,9	2,0	4,0	0,9	43,0	21,0	2,7	8,4	8,4	30,0	4,0	10,4	16,1	16,1	30,0	4,0	10,4	16,1		
150	6	3,4	4,3	4,9	2,3	1,9	2,5	1,1	2,5	5,0	1,1	51,0	26,0	3,4	10,0	10,0	39,0	5,0	12,5	19,3	19,3	39,0	5,0	12,5	19,3		
200	8	4,3	5,5	6,4	3,0	2,4	3,3	1,5	3,5	6,0	1,4	67,0	34,0	4,3	13,0	13,0	52,0	6,0	16,0	25,0	25,0	52,0	6,0	16,0	25,0		
250	10	5,5	6,7	7,9	3,8	3,0	4,1	1,8	4,5	7,5	1,7	85,0	43,0	5,5	16,0	16,0	65,0	7,5	20,0	32,0	32,0	65,0	7,5	20,0	32,0		
300	12	6,1	7,9	9,5	4,6	3,6	4,8	2,2	5,5	9,0	2,1	102,0	51,0	6,1	19,0	19,0	78,0	9,0	24,0	38,0	38,0	78,0	9,0	24,0	38,0		
350	14	7,3	9,5	10,5	5,3	4,4	5,4	2,5	6,2	11,0	2,4	120,0	60,0	7,3	22,0	22,0	90,0	11,0	28,0	45,0	45,0	90,0	11,0	28,0	45,0		

* Los valores indicados para válvulas tipo globo se aplican también a llaves para regaderas y válvulas o llaves de descarga.

Nota: las longitudes equivalentes de la tabla corresponden a tuberías de hierro fundido. Deben usarse factores de corrección para otros materiales, $FC = (C_{material}/100)^{1,85}$.

Anexo 7. Alternador seleccionado


[Corporate](#)
[Applications](#)
[Products](#)
[Support](#)
[News and Events](#)
[Download area](#)
[Contact](#)

ECP32C 4 pole		Models	Power range (kVA)	
			1 phase	3 phase
Power range (kVA)	23 - 100	ECP32 1S4 C	23 - 24	37.5 - 45
Winding code	T040553	ECP32 2S4 C	26 - 27	45 - 54
Pole	4	ECP32 1M4 C	29 - 30	50 - 60
Regulator	DSR	ECP32 2M4 C	35 - 36	62.5 - 75
Overspeed (RPM)	2250	ECP32 1L4 C	43 - 45	75 - 90
Protection class	IP23	ECP32 2L4 C	45 - 47	82.5 - 100
Altitude (m)	0-1000			

Anexo 8. Propiedades de masa de la rueda y la polea motriz

Propiedades de masa de RUEDAPEIION HIDROARBO

Configuración: Predeterminado

Sistema de coordenadas: -- predeterminado --

Densidad = 7200.00 kilogramos por metro cúbico

Masa = 122.13 kilogramos

Volumen = 0.02 metros cúbicos

Área de superficie = 3.07 metros cuadrados

Centro de masa: (metros)

X = 0.00

Y = -0.07

Z = -0.23

Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: (kilogramos * metros cuadrados)

Medido desde el centro de masa.

$I_x = (0.00, 0.89, 0.45)$ $P_x = 2.33$

$I_y = (0.00, -0.45, 0.89)$ $P_y = 2.33$

$I_z = (1.00, 0.00, 0.00)$ $P_z = 3.87$

Momentos de inercia: (kilogramos * metros cuadrados)

Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de resultados.

$L_{xx} = 3.87$ $L_{xy} = 0.00$ $L_{xz} = 0.00$

$L_{yx} = 0.00$ $L_{yy} = 2.33$ $L_{yz} = 0.00$

$L_{zx} = 0.00$ $L_{zy} = 0.00$ $L_{zz} = 2.33$

Momentos de inercia: (kilogramos * metros cuadrados)

Medido desde el sistema de coordenadas de salida.

$I_{xx} = 1.07$ $I_{xy} = 0.00$ $I_{xz} = 0.00$

$I_{yx} = 0.00$ $I_{yy} = 9.00$ $I_{yz} = 1.88$

$I_{zx} = 0.00$ $I_{zy} = 1.88$ $I_{zz} = 2.85$

Anexo 9. Propiedades mecánicas de aceros típicos al carbono

722

Materiales de ingeniería Cap. 14

TABLA 14-4 PROPIEDADES MECÁNICAS DE ACEROS TÍPICOS AL CARBONO

Acero	Condición	Resistencia a la tensión MPa(kpsi)	Resistencia a la fluencia MPa(kpsi)	% de alargamiento en 2 in	% de reducción de área	Dureza Brinell	Maquina- bilidad, %
1006	Laminado en caliente	300 (43)	170 (24)	30	55	86	50
	Estirado en frío	330 (48)	180 (41)	20	45	95	
1010	Laminado en caliente	320 (47)	180 (26)	28	50	95	55
	Estirado en frío	370 (53)	300 (44)	20	40	105	
1015	Laminado en caliente	340 (50)	190 (27.5)	28	50	101	60
	Estirado en frío	390 (56)	320 (47)	18	40	111	
1018	Laminado en caliente	400 (58)	220 (32)	25	50	116	70
	SACD	440 (64)	370 (54)	15	40	126	
1020	Laminado en caliente	380 (55)	210 (30)	25	50	111	65
	Estirado en frío	420 (61)	350 (51)	15	40	121	
1030	Laminado en caliente	470 (68)	260 (37.5)	20	42	137	70
	Estirado en frío	520 (76)	440 (64)	12	35	149	
1035	Laminado en caliente	500 (72)	270 (39.5)	18	40	143	65
	Estirado en frío	550 (80)	460 (67)	12	35	163	
1040	Laminado en caliente	520 (76)	290 (42)	18	40	149	60
	Estirado en frío	690 (85)	490 (71)	12	35	170	
1045	Laminado en caliente	570 (82)	310 (45)	16	40	163	
	Estirado en frío	630 (91)	530 (77)	12	35	179	55
	ACD	590 (85)	500 (73)	12	45	170	65
1050	Laminado en caliente	620 (90)	340 (49.5)	15	35	179	
	Estirado en frío	690 (100)	580 (84)	10	30	197	45
	ACD	660 (95)	550 (80)	10	40	189	55
1060	Laminado en caliente	680 (98)	370 (54)	12	30	201	60
	SACD	620 (90)	480 (70)	10	45	183	
1070	Laminado en caliente	700 (102)	390 (56)	12	30	212	55
	SACD	640 (93)	500 (72)	10	45	192	
1080	Laminado en caliente	770 (112)	420 (61.5)	10	24	229	45
	SACD	680 (98)	520 (75)	10	40	192	
1090	Laminado en caliente	840 (122)	460 (67)	10	25	248	45
	SACD	700 (101)	540 (78)	10	40	197	
1095	Laminado en caliente	830 (120)	460 (66)	10	25	248	45
	SACD	680 (99)	520 (76)	10	40	197	

ACD = estirado en frío recocido (por sus siglas en inglés: *annealed cold drawn*)SACD = estirado en frío, recocido, esferoidizado (por sus siglas en inglés: *spheroidized annealed cold drawn*)Fuente: Manual SAE 1996, volumen 1, *Society of Automotive Engineers*, Warrendale, Pa.

Anexo 10. Rodamientos SKF



SKF Bearing Select Report 1.3-158

SKF

MICROCENRAL

Rodamientos para el eje de la turbina y polea.



Fabio Gáfaró: Johan Dallos
UFPS

October 03, 2021



1. Abstract



Deep groove ball bearing

■ SKF Explorer ☆ Popular item

Designation	Life model		Grease	Static safety factor	Frictional moment	Power loss
	Basic	SKF life	Relubrication interval		Total	
	L_{10h}	L_{10mh}	t_r	S_0	M	P_{loss}
					Nmm	W
☆ ■ <u>6210</u>	32700	101000	11600	5.57	123	4.6

* SKF rating life (L_{10mh}) for steel-steel bearings; GBLM load based life (L_{100Mh}) for hybrid bearings

warnings

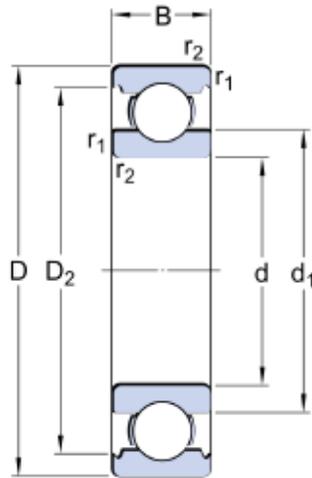
! The grease life / relubrication interval is reduced depending on the contamination level. Higher cleanliness will improve the duration.

! For rating life results above 100000 hours, other failure modes than those included in the current rating life models will dominate and limit the life of the bearing.



2. Input

2.1. Bearing data



Designation	Bearing type	Principal dimensions			Basic load ratings		Fatigue load limit
		d	D	B	Dynamic C	Static C ₀	
		<i>mm</i>			<i>kN</i>		<i>P_u</i>
☆ ■ 6210	Deep groove ball bearing	50.0	90.0	20.0	37.1	23.2	0.98
Designation	Speed ratings		Clearance class				
	Reference n _{ref} <i>r/min</i>	Limiting n _{lim}					
☆ ■ 6210	15000.0	10000.0	Normal				



2.2. Loads, Speed and Temperature

Shaft orientation	Horizontal
Rotating ring	Inner ring rotation

	Forces		Speed <i>r/min</i>	Temperature		Case weight
	Radial (F_r) <i>kN</i>	Axial (F_a)		Inner ring $^{\circ}\text{C}$	Outer ring	
LC1	4.163	0.0	360.0	70	65	1

- Maximum temperature is used for calculating the actual viscosity, κ , a_{SKF} and SKF rating life.
- Mean temperature is used for calculating bearing friction and power loss.

2.3. Lubrication

Designation	Lubricant			Effective EP additives
	Type	Method	Name	
☆ ■ 6210	Grease	SKF grease	LGWM 1: extreme pressure low temperature	False

Designation	Contamination	
	Method	Cleanliness / Factor
☆ ■ 6210	Detailed guidelines	Normal cleanliness



2.4. Fits and tolerances

Designation	Requirements	Tolerance Class		Calculated interference	Include Smoothing
	Guidance	Housing	Shaft		
☆ ■ 6210	False	H7	h8	False	False



3. Results

3.1. Loads & static safety

Designation	Load ratio	Static safety factor	Equivalent dynamic load	Equivalent static load
	C/P	S_0	P kN	P_0
☆ ■ <u>6210</u>	8.91	5.57	4.16	4.16

3.2. Bearing minimum load

Designation	Reaction forces		Minimum load	Requirements met?
	Radial	Axial	F_{rm}	
	F_r	F_a		
☆ ■ <u>6210</u>	4.163	0.0	0.0779	yes

3.3. Adjusted reference speed

Designation	Adjusted reference speed	Adjustment factors	
	n_{ar} r/min	For bearing load P	For oil viscosity
		f_p	f_v
☆ ■ <u>6210</u>	11100	0.74	1.0



3.4. Lubrication conditions

Designation	Operating viscosity			Viscosity ratio K
	Actual	Rated	Rated @ 40 °C	
	v	v_1	v_{ref}	
	mm^2/s			
☆ ■ 6210	44.5	34.0	130	1.3

3.5. Grease life and relubrication interval

Designation	Relubrication interval t_r h	Grease quantity	Speed factor
		Side	Speed x mean diameter
		G_p g	nd_m mm/min
☆ ■ 6210	11600	9	25200

warnings

! The grease life / relubrication interval is reduced depending on the contamination level. Higher cleanliness will improve the duration.

3.6. Bearing rating life

Designation	Bearing rating life		SKF life modification factor a_{skf}	Contamination factor η_c
	Basic	SKF		
	L_{10h} h	L_{10mh}		
☆ ■ 6210	32700	101000	3.09	0.39

* SKF rating life (L_{10mh}) for steel-steel bearings; GBLM load based life (L_{10Gmh}) for hybrid bearings

warnings

! For rating life results above 100000 hours, other failure modes than those included in the current rating life models will dominate and limit the life of the bearing.



3.7. Bearing friction & power loss

Designation	Frictional moment		Friction sources				Power loss
	Total	At start 20-30°C and zero speed	Rolling	Sliding	Seals	Drag loss	
	M	M _{start}	M _{rr}	M _{sl}	M _{seal}	M _{drag}	P _{loss}
	Nmm						W
☆ ■ 6210	123	172	49.5	73.5	0	0	4.6

3.8. Bearing frequencies

Designation	Rotational frequencies			
	Inner ring	Outer ring	Rolling element set & cage	Rolling element about its axis
	f _i	f _e	f _c	f _r
	Hz			
☆ ■ 6210	6.0	0.0	2.456	15.991

Designation	Frequency of over-rolling		
	Point on inner ring	Point on outer ring	Rolling element
	f _{ip}	f _{ep}	f _{rp}
	Hz		
☆ ■ 6210	35.443	24.557	31.982



3.9. Fits and tolerances

3.9.1. Tolerances

Designation	Shaft outer diameter		Bearing bore		Bearing outer diameter	
	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum
	μm					
☆ ■ 6210	-16	0	-12	0	-15	0

Designation	Housing bore		Smoothing	
	Minimum	Maximum	Shaft and bearing bore	Bearing outer ring and housing
	μm			
☆ ■ 6210	0	35	N/A	N/A

- For the tolerances calculation, the normal tolerance for the bearing bore and outer diameter is used.

3.9.2. Fits, Theoretical Interference (+) / Clearance (-)

Designation	Shaft			Housing		
	Probable minimum	Middle	Probable maximum	Probable minimum	Middle	Probable maximum
	μm					
☆ ■ 6210	-16	-2	12	-50	-25	0

Anexo 11. Sistema de transmisión de potencia Habasit

POWER-SeleCalc



Empresa universidad francisco de paula santander

Proyecto ufps

Contacto johan Dallos (3044037656, johansebastianda@ufps.edu.co)

Aplicación

1.01	Tipo de banda	TF-50
1.02	Configuración	Accionamiento abierto
1.03	Potencia transmitida	29.63 kW
1.04	Factor de seguridad	1.2 -
1.06	Diámetro de polea motriz	1000 mm
1.07	Distancia entre centros	3000 mm
1.08	RPM de la polea motriz	360 1/min
1.09	Diámetro de polea conducida	200 mm
1.13	Temperature range	20 - 40 °C
1.14	Ancho de banda	50 mm
1.15	Elongación inicial (opcional)	1 %

Cálculos

2.01	Ancho de banda seleccionado	50 mm
2.02	Longitud efectiva de la banda	7951 mm
2.03	Elongación inicial	1 %
2.04	Carrera del tensor requerida	40 mm
2.05	Distancia entre centros	mm
2.06	Carga dinámica máxima sobre el eje	4813 N
2.07	Carga dinámica máxima sobre el eje (polea conducida)	4813 N
2.09	RPM's de la polea conducida	1772 1/min
2.10	Carga estática máxima sobre el eje	4955 N
2.11	Carga estática máxima sobre el eje (polea conducida)	4955 N

Información adicional

3.01	Ancho de banda requerido	46.2 mm
3.02	Longitud geométrica de la banda	7938 mm
3.03	Longitud de banda acortada	7872 mm
3.04	RPM's esperadas del rodillo conducido (considerando el deslizamiento de la banda)	1765 1/min
3.05	Velocidad de la banda	18.9 m/s
3.06	Elongación causada por la fuerza centrífuga	0.03 %
3.07	Elongación a flexión	0 %
3.08	Elongación en el ramal no-tenso	%
3.09	Elongación en el ramal tenso	%
3.10	Elongación máxima	1.37 %
3.11	Elongación mínima	0.63 %
3.12	Fuerza tangencial (con corrección de temperatura)	1847 N
3.13	Arco de contacto (valor mínimo)	165 °
3.14	Fuerza de tracción en el ramal tenso	3349 N
3.15	Fuerza de tracción en el ramal no-tenso	1501 N
3.16	Diámetro de poleas mínimo admisible (considerando temperatura ambiente mínima)	125 mm
3.17	Altura recomendada de la conicidad del rodillo motriz	0.7 mm
3.18	Altura recomendada de la conicidad del rodillo conducido	0.4 mm
3.19	Elongación en el ramal tenso (sin fuerza centrífuga)	1.34 %

POWER-SeleCalc



Empresa **universidad francisco de paula santander**

Proyecto **ufps**

Contacto johan Dallos (3044037656, johansebastianda@ufps.edu.co)

3.20 Elongación en el ramal no-tenso (sin fuerza centrífuga)

0.60 %

Peligro

No warning

Applicability of SeleCalc Terms of Use

Please note that these data are subject to the SeleCalc Terms of Use which you have agreed to before using the SeleCalc Application and which are downloadable on Habsit's webpage.

Correas de transmisión TF-50



Segmento industrial

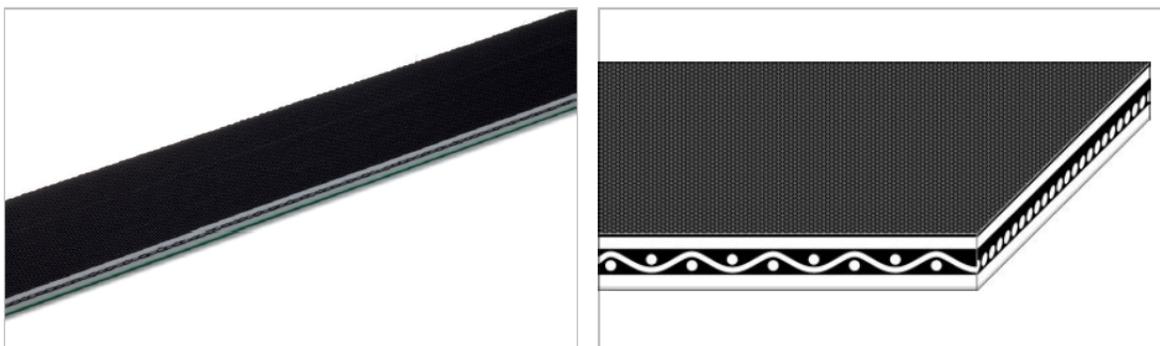
Fabricación y procesado de papel, Hilatura

Aplicaciones

Banda de accionamiento, Correa para accionamiento de rodillos, Correa tangencial

Características especiales

Resistente a la abrasión, Dimensionalmente estable, Ahorro de energía, Gran coeficiente de elasticidad, Gran uniformidad en la velocidad de la banda, Baja tensión inicial, Método de empalme sencillo y rápido



Propiedades de la correa

Construcción del producto/Diseño	
Cara de marcha/Lado de polea (material)	Goma de Acrilnitrilo-Butadieno (NBR)
Cara de marcha/Lado de polea (superficie)	Grabado rugoso
Cara de marcha/Lado de polea (color)	Negro
Capa de tracción (material)	Tejido de aramida
Número de tejidos	1
Material del lado opuesto	Goma de Acrilnitrilo-Butadieno (NBR)
Superficie del lado opuesto	Grabado rugoso
Color del lado opuesto	Verde

Características del producto	
Disposición del accionamiento	Correa con doble cara de transmisión
Propiedades antiestáticas	Sí
Empalme sin adhesivo	Sí
Calidad alimentaria (conformidad FDA)	No
Calidad alimentaria (conformidad EU)	No

Datos técnicos		
Espesor de banda:	3.9 mm	0.15 Pulg.
Masa de la correa (peso de la correa)	4.1 kg/m ²	0.840 lb/sqft
Fuerza de tracción para 1% de alargamiento (k1% después del rodaje) por unidad de ancho (Norma Habasit SOP3-013)	50 N/mm	286 lbf/in
Fuerza periférica nominal por unidad de ancho	50 N/mm	286 lbf/in
Temperatura min. de funcionamiento admisible (continua)	-20 °C	-4 °F
Temperatura max. de funcionamiento admisible (continua)	65 °C	149 °F
Ancho de fabricación sin empalme	1100 mm	43.31 Pulg.

Todos los datos son valores aproximados bajo condiciones climáticas standar: 23°C/73°F, 50% humedad relativa (DIN 50005/ISO 554) y están basados en el método de empalme Master.

Correas de transmisión TF-50



Propiedades del Empalme

[Link to JDS:](#)

Método de empalme		Flexproof 10 x 120
Diámetro de la polea (mínimo)	mm <i>Pulg.</i>	125 4.92
Diámetro mínimo de la polea con contraflexión	mm <i>Pulg.</i>	125 4.92

Resistencia química

Link para acceder a la Información sobre Resistencia Química: <http://www.habasit.com/es/resistencia-productos-quimicos.htm>

Modo de utilización/transporte

Transmisión de potencia, Accionamiento tangencial

Cálculos

Para las correas de transmisión es recomendable calcular como mínimo el ancho y la tensión inicial. Para esto se puede utilizar el programa SeleCalc de Habasit. Aunque lo más fácil es que se lo calcule el propio personal de Habasit.

Recomendación

Siga las instrucciones de instalación y mantenimiento que se suministran junto con el material.

Consulte "Storage and handling requirements for belts and machine tapes" si desea información detallada o contacte con su representante de Habasit, Proteja las bandas de la luz solar/radiación UV/polvo y suciedad. Almacene las bandas sobrantes en un lugar fresco y seco y, a ser posible, en su envoltura original.

No fuerce la banda en las poleas, No doble o pliegue la banda, No permita que los bordes de la banda estén en contacto con la instalación/máquina, Este producto no ha sido probado siguiendo los estándares ATEX (atmósferas con riesgo de explosión - regulación ATEX 95 o la normativa de la UE 2014/34) y -por tanto- es tarea del usuario su análisis en el respectivo entorno.

Grupo	Correas de transmisión de potencia de aramida
Subgrupo	Correas de transmisión de potencia de aramida TF
Número de artículo	H010100151

Exención de responsabilidad

Exención de responsabilidad emergente de las aplicaciones que constan en las fichas de datos de productos y otra documentación de ventas

Habasit realiza esta exención de responsabilidad en nombre propio y en el de sus compañías afiliadas, directores, empleados, agentes y contratistas (en adelante denominados en su conjunto "HABASIT") con respecto a los productos mencionados en el presente (los "Productos"). **(DEBEN LEERSE ATENTAMENTE LAS ADVERTENCIAS DE SEGURIDAD Y SEGUIRSE ESTRICTAMENTE LAS PRECAUCIONES DE SEGURIDAD RECOMENDADAS! Consulten las advertencias de seguridad en el presente documento, en el catálogo de Habasit así como en los manuales de instalación y operación. Todas las indicaciones e información sobre la aplicación, el modo de empleo y el rendimiento de los Productos constituyen recomendaciones que se ofrecen con debida diligencia y atención, pero no se efectúan declaraciones o garantía de índole alguna en cuanto a su integridad, precisión o adecuación a un fin determinado. Los datos proporcionados en el presente se basan en la aplicación de laboratorio con equipos de prueba de pequeña escala, en condiciones estándar, y no necesariamente coinciden con el rendimiento del producto en el ámbito de aplicación industrial. Los nuevos conocimientos y la experiencia adquiridos pueden dar lugar a reevaluaciones y a modificaciones a corto plazo y sin previo aviso. SALVO COMO LO GARANTICE EXPLÍCITAMENTE HABASIT, CUYAS GARANTÍAS SON EXCLUSIVAS Y REEMPLAZAN A TODA OTRA GARANTÍA, EXPRESA O IMPLÍCITA, LOS PRODUCTOS SE SUMINISTRAN "EN EL ESTADO EN QUE SE ENCUENTRAN": HABASIT NO REALIZA DECLARACIÓN DE GARANTÍA ALGUNA, DE NATURALEZA EXPRESA O IMPLÍCITA, INCLUSIVE, ENTRE OTRAS, GARANTÍAS IMPLÍCITAS DE COMERCIABILIDAD, ADECUACIÓN A UN FIN DETERMINADO, NO VIOLACIÓN DE DERECHOS O AQUELLAS QUE SURJAN DEL CURSO DE LAS NEGOCIACIONES ANTERIORES, DEL USO ACOSTUMBRADO O DE LA PRÁCTICA COMERCIAL, TODAS LAS CUALES SE EXCLUYEN POR EL PRESENTE EN LA MEDIDA PERMITIDA POR EL DERECHO APLICABLE. DADO QUE LAS CONDICIONES DEL MODO DE EMPLEO EN UNA APLICACIÓN INDUSTRIAL ESTÁN AJENAS AL CONTROL DE HABASIT, HABASIT NO ASUME RESPONSABILIDAD ALGUNA ACERCA DE LA ADECUACIÓN Y HABILIDAD DE PROCESO DE LOS PRODUCTOS, INCLUIDAS LAS INDICACIONES SOBRE RESULTADOS Y RENDIMIENTO DE PROCESOS."**

Anexo 12. Dimensiones de roscas hexagonales

Tabla A-31

Dimensiones de roscas hexagonales

Tamaño nominal, pulg	Ancho W	Altura H		
		Hexagonal regular	Gruesa ranurada	Contra-tuerca
$\frac{1}{4}$	$\frac{7}{16}$	$\frac{7}{32}$	$\frac{9}{32}$	$\frac{5}{32}$
$\frac{5}{16}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{17}{64}$	$\frac{21}{64}$	$\frac{3}{16}$
$\frac{3}{8}$	$\frac{9}{16}$	$\frac{21}{64}$	$\frac{13}{32}$	$\frac{7}{32}$
$\frac{7}{16}$	$\frac{11}{16}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{29}{64}$	$\frac{1}{4}$
$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{7}{16}$	$\frac{9}{16}$	$\frac{5}{16}$
$\frac{9}{16}$	$\frac{7}{8}$	$\frac{31}{64}$	$\frac{39}{64}$	$\frac{5}{16}$
$\frac{5}{8}$	$\frac{15}{16}$	$\frac{35}{64}$	$\frac{23}{32}$	$\frac{3}{8}$
$\frac{3}{4}$	$1\frac{1}{8}$	$\frac{41}{64}$	$\frac{13}{16}$	$\frac{27}{64}$
$\frac{7}{8}$	$1\frac{5}{16}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{29}{32}$	$\frac{31}{64}$
1	$1\frac{1}{2}$	$\frac{55}{64}$	1	$\frac{35}{64}$
$1\frac{1}{8}$	$1\frac{11}{16}$	$\frac{31}{32}$	$1\frac{5}{32}$	$\frac{39}{64}$
$1\frac{1}{4}$	$1\frac{7}{8}$	$1\frac{1}{16}$	$1\frac{1}{4}$	$\frac{23}{32}$
$1\frac{3}{8}$	$2\frac{1}{16}$	$1\frac{11}{64}$	$1\frac{3}{8}$	$\frac{25}{32}$
$1\frac{1}{2}$	$2\frac{1}{4}$	$1\frac{9}{32}$	$1\frac{1}{2}$	$\frac{27}{32}$
Tamaño nominal, mm				
M5	8	4.7	5.1	2.7
M6	10	5.2	5.7	3.2
M8	13	6.8	7.5	4.0
M10	16	8.4	9.3	5.0
M12	18	10.8	12.0	6.0
M14	21	12.8	14.1	7.0
M16	24	14.8	16.4	8.0
M20	30	18.0	20.3	10.0
M24	36	21.5	23.9	12.0
M30	46	25.6	28.6	15.0
M36	55	31.0	34.7	18.0

Anexo 13. Tamaños preferidos y números de Renard

Tabla A-17

Tamaños preferidos y números de Renard (serie R). (Cuando pueda elegir, use uno de estos tamaños; sin embargo, no todas las partes o artículos están disponibles en todos los tamaños que se muestran en la tabla.)

Fracción de pulgadas
$\frac{1}{64}, \frac{1}{32}, \frac{1}{16}, \frac{3}{32}, \frac{1}{8}, \frac{5}{32}, \frac{3}{16}, \frac{1}{4}, \frac{5}{16}, \frac{3}{8}, \frac{7}{16}, \frac{1}{2}, \frac{9}{16}, \frac{5}{8}, \frac{11}{16}, \frac{3}{4}, \frac{7}{8}, 1, 1\frac{1}{4}, 1\frac{1}{2}, 1\frac{3}{4}, 2, 2\frac{1}{4}, 2\frac{1}{2}, 2\frac{3}{4}, 3, 3\frac{1}{4}, 3\frac{1}{2}, 3\frac{3}{4}, 4, 4\frac{1}{4}, 4\frac{1}{2}, 4\frac{3}{4}, 5, 5\frac{1}{4}, 5\frac{1}{2}, 5\frac{3}{4}, 6, 6\frac{1}{2}, 7, 7\frac{1}{2}, 8, 8\frac{1}{2}, 9, 9\frac{1}{2}, 10, 10\frac{1}{2}, 11, 11\frac{1}{2}, 12, 12\frac{1}{2}, 13, 13\frac{1}{2}, 14, 14\frac{1}{2}, 15, 15\frac{1}{2}, 16, 16\frac{1}{2}, 17, 17\frac{1}{2}, 18, 18\frac{1}{2}, 19, 19\frac{1}{2}, 20$
Décimas de pulgadas
0.010, 0.012, 0.016, 0.020, 0.025, 0.032, 0.040, 0.05, 0.06, 0.08, 0.10, 0.12, 0.16, 0.20, 0.24, 0.30, 0.40, 0.50, 0.60, 0.80, 1.00, 1.20, 1.40, 1.60, 1.80, 2.0, 2.4, 2.6, 2.8, 3.0, 3.2, 3.4, 3.6, 3.8, 4.0, 4.2, 4.4, 4.6, 4.8, 5.0, 5.2, 5.4, 5.6, 5.8, 6.0, 7.0, 7.5, 8.5, 9.0, 9.5, 10.0, 10.5, 11.0, 11.5, 12.0, 12.5, 13.0, 13.5, 14.0, 14.5, 15.0, 15.5, 16.0, 16.5, 17.0, 17.5, 18.0, 18.5, 19.0, 19.5, 20
Milímetros
0.05, 0.06, 0.08, 0.10, 0.12, 0.16, 0.20, 0.25, 0.30, 0.40, 0.50, 0.60, 0.70, 0.80, 0.90, 1.0, 1.1, 1.2, 1.4, 1.5, 1.6, 1.8, 2.0, 2.2, 2.5, 2.8, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0, 8.0, 9.0, 10, 11, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 30, 32, 35, 40, 45, 50, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200, 250, 300
Números de Renard*
1a. elección, R5: 1, 1.6, 2.5, 4, 6.3, 10
2a. elección, R10: 1.25, 2, 3.15, 5, 8
3a. elección, R20: 1.12, 1.4, 1.8, 2.24, 2.8, 3.55, 4.5, 5.6, 7.1, 9
4a. elección, R40: 1.06, 1.18, 1.32, 1.5, 1.7, 1.9, 2.12, 2.36, 2.65, 3, 3.35, 3.75, 4.25, 4.75, 5.3, 6, 6.7, 7.5, 8.5, 9.5

* Se pueden multiplicar por, o dividir entre, potencias de 10.

Anexo 14. Diámetros y reas de roscas métricas

Tabla 8-1

Diámetros y áreas de roscas métricas de paso grueso y fino*

Diámetro mayor nominal d , mm	Serie de paso grueso			Serie de paso fino		
	Paso p , mm	Área de esfuerzo de tensión A_t , mm ²	Área del diámetro menor A_r , mm ²	Paso p , mm	Área de esfuerzo de tensión A_t , mm ²	Área del diámetro menor A_r , mm ²
1.6	0.35	1.27	1.07			
2	0.40	2.07	1.79			
2.5	0.45	3.39	2.98			
3	0.5	5.03	4.47			
3.5	0.6	6.78	6.00			
4	0.7	8.78	7.75			
5	0.8	14.2	12.7			
6	1	20.1	17.9			
8	1.25	36.6	32.8	1	39.2	36.0
10	1.5	58.0	52.3	1.25	61.2	56.3
12	1.75	84.3	76.3	1.25	92.1	86.0
14	2	115	104	1.5	125	116
16	2	157	144	1.5	167	157
20	2.5	245	225	1.5	272	259
24	3	353	324	2	384	365
30	3.5	561	519	2	621	596
36	4	817	759	2	915	884
42	4.5	1 120	1 050	2	1 260	1 230
48	5	1 470	1 380	2	1 670	1 630
56	5.5	2 030	1 910	2	2 300	2 250
64	6	2 680	2 520	2	3 030	2 980
72	6	3 460	3 280	2	3 860	3 800
80	6	4 340	4 140	1.5	4 850	4 800
90	6	5 590	5 360	2	6 100	6 020
100	6	6 990	6 740	2	7 560	7 470
110				2	9 180	9 080

* Las ecuaciones y los datos utilizados para elaborar esta tabla se obtuvieron de la norma ANSI B1.1-1974 y B18.3.1-1978. El diámetro menor se determinó mediante la ecuación $d_r = d - 1.226869p$, y el diámetro de paso a partir de $d_p = d - 0.649519p$. La media del diámetro de paso y el diámetro menor se usaron para calcular el área de esfuerzo de tensión.

Anexo 15. Especificaciones SAE para pernos de acero

Tabla 8-9

Especificaciones SAE para pernos de acero

Grado SAE núm.	Intervalo de tamaños, inclusive, pulg	Resistencia de prueba mínima,* kpsi	Resistencia mínima a la tensión,* kpsi	Resistencia mínima a la fluencia,* kpsi	Material	Marca en la cabeza
1	$\frac{1}{4}$ a $1\frac{1}{2}$	33	60	36	Acero de bajo o medio carbono	
2	$\frac{1}{4}$ a $\frac{3}{4}$ $\frac{7}{8}$ a $1\frac{1}{2}$	55	74	57	Acero de bajo o medio carbono	
		33	60	36		
4	$\frac{1}{4}$ a $1\frac{1}{2}$	65	115	100	Acero de medio carbono, estirado en frío	
5	$\frac{1}{4}$ a 1 $1\frac{1}{8}$ a $1\frac{1}{2}$	85	120	92	Acero de medio carbono, T y R	
		74	105	81		
5.2	$\frac{1}{4}$ a 1	85	120	92	Acero martensítico de bajo carbono, T y R	
7	$\frac{1}{4}$ a $1\frac{1}{2}$	105	133	115	Acero de aleación de medio carbono, T y R	
8	$\frac{1}{4}$ a $1\frac{1}{2}$	120	150	130	Acero de aleación de medio carbono T y R	
8.2	$\frac{1}{4}$ a 1	120	150	130	Acero martensítico de bajo carbono, T y R	

* Las resistencias mínimas son resistencias que exceden 99 por ciento de los sujetadores.

Anexo 16. Fichas técnicas

	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER			FORMATO 01
	FICHA TECNICA			
NOMBRE	COMPUERTA DE CAPTACIÓN		UBICACION	Q. LA MONAR
MARCA	N/R		CODIGO	N/R
MODELO	PLANA DESLIZANTE		SERIAL	NO REGISTRA
FECHA DE COMPRA	19/06/2021		INICIO DE OPERACION	26/06/2021
DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO			ILUSTRACIÓN	
COMPUERTA PRINCIPAL PARA LA CAPTACIÓN DEL ANTIGUO ACUEDUCTO DEL MUNICIPIO DE ARBOLEDAS.				
COMPONENTES				
NOMBRE	CANTIDAD	MATERIALES	SERIE	CODIGO DE INVENTARIO
MARCO	1	ASTM A-36	N.R.	N.R.
COMPUERTA	1	ASTM A-36	N.R.	N.R.
PLACA SUPERIOR	1	ASTM A-36	N.R.	N.R.
SOPORTE PARA IZAJE	1	ASTM A-36	N.R.	N.R.
TORNILLO PARA IZAJE	1	AISI 1020	N.R.	N.R.
ROSCA DE IZAJE	1	BRONCE	N.R.	N.R.
ACOPLE A LA ROSCA	1	AISI 1020	N.R.	N.R.
VOLANTE DE IZAJE	1	ASTM A-36	N.R.	N.R.
ELEMENTOS DE SUJECIÓN	22	AISI 1020	N.R.	N.R.
ACOPLE A LA ROSCA	2	AISI 1021	N.R.	N.R.
ELABORÓ		REVISÓ		APROBÓ
FABIO GÁFARO, SEBASTIAN DALLOS.		JESÚS PEDROZA		JESÚS PEDROZA
ESTUDIANTES DE INGENIERÍA MECÁNICA		INGENIERO MECÁNICO		INGENIERO MECÁNICO
23/07/2021				

	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER			FORMATO 01
	FICHA TECNICA			
NOMBRE	COMPUERTA AUXILIAR	UBICACION	Q. LA MONAR	
MARCA	N/R	CODIGO	N/R	
MODELO	PLANA DESLIZANTE	SERIAL	NO REGISTRA	
FECHA DE COMPRA	19/06/2021	INICIO DE OPERACION	26/06/2021	
DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO		ILUSTRACIÓN		
COMPUERTA AUXILIAR PARA FINES DE EMERGENCIA, LIMPIEZA Y MANTENIMIENTO DEL CIRCUITO HIDRÁULICO.				
COMPONENTES				
NOMBRE	CANTIDAD	MATERIALES	SERIE	CODIGO DE INVENTARIO
MARCO	1	ASTM A-36	N.R	N.R
COMPUERTA	1	ASTM A-36	N.R	N.R
EMPAQUES	3	CAUCHO	N.R	N.R
SOPORTE PARA IZAJE	1	ASTM A-36	N.R	N.R
ELABORÓ	REVISÓ		APROBÓ	
FABIO GÁFARO, SEBASTIAN DALLOS.	JESÚS PEDROZA		JESÚS PEDROZA	
ESTUDIANTES DE INGENIERÍA MECÁNICA	INGENIERO MECÁNICO		INGENIERO MECÁNICO	
23/07/2021				

	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER			FORMATO 01
	FICHA TECNICA			
NOMBRE	COMPUERTA DESARENADOR	UBICACION	TANQUE	
MARCA	N/R	CODIGO	N/R	
MODELO	PLANA DESLIZANTE	SERIAL	NO REGISTRA	
FECHA DE COMPRA	05/07/2021	INICIO DE OPERACION	12/07/2021	
DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO		ILUSTRACIÓN		
COMPUERTA DESTINADA A LA LIMPIEZA DEL TÚNEL DE EL DESARENADOR .				
COMPONENTES				
NOMBRE	CANTIDAD	MATERIALES	SERIE	CODIGO DE INVENTARIO
MARCO	1	ASTM A-36	N.R	N.R
COMPUERTA	1	ASTM A-36	N.R	N.R
SELLOS	7	CAUCHO	N,R	N.R
ELABORÓ		REVISÓ		APROBÓ
FABIO GÁFARO, SEBASTIAN DALLOS.		JESÚS PEDROZA		JESÚS PEDROZA
ESTUDIANTES DE INGENIERÍA MECÁNICA		INGENIERO MECÁNICO		INGENIERO MECÁNICO
23/07/2021				

	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER			FORMATO 01
	FICHA TECNICA			
NOMBRE	COMPUERTA SUPERIOR	UBICACION	TANQUE	
MARCA	N/R	CODIGO	N/R	
MODELO	PLANA DESLIZANTE	SERIAL	NO REGISTRA	
FECHA DE COMPRA	05/07/2021	INICIO DE OPERACION	12/07/2021	
DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO			ILUSTRACIÓN	
COMPUERTA DESTINADA A IMPEDIR EL PASO DE CAUDAL PARA REALIZAR LABORES DE LIMPIEZA A LOS TANQUES.				
COMPONENTES				
NOMBRE	CANTIDAD	MATERIALES	SERIE	CODIGO DE INVENTARIO
MARCO	1	ASTM A-36	N.R	N.R
COMPUERTA	1	ASTM A-36	N.R	N.R
SELLOS	3	CAUCHO	N.R	N.R
ELABORÓ		REVISÓ		APROBÓ
FABIO GÁFARO, SEBASTIAN DALLOS.		JESÚS PEDROZA		JESÚS PEDROZA
ESTUDIANTES DE INGENIERÍA MECÁNICA		INGENIERO MECÁNICO		INGENIERO MECÁNICO
23/07/2021				

	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER			FORMATO 01
	FICHA TECNICA			
NOMBRE	COMPUERTA INFERIOR	UBICACION	TANQUE	
MARCA	N/R	CODIGO	N/R	
MODELO	PLANA DESLIZANTE	SERIAL	NO REGISTRA	
FECHA DE COMPRA	05/07/2021	INICIO DE OPERACION	12/07/2021	
DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO		ILUSTRACIÓN		
COMPUERTA DESTINADA PARA VACIAR LOS TANQUES Y REALIZAR LAS LABORES DE LIMPIEZA DE SEDIMENTOS ACUMULADOS.				
COMPONENTES				
NOMBRE	CANTIDAD	MATERIALES	SERIE	CODIGO DE INVENTARIO
MARCO	1	ASTM A-36	N,R	N,R
COMPUERTA	1	ASTM A-36	N,R	N,R
SELLOS	1	NEOPRENO	N,R	N,R
TORNILLO DE IZAJE	1	AISI 1020	N,R	N,R
ACOPLE ROSCA DE IZAJE	1	BRONCE	N,R	N,R
LLAVE DE COMPUERTA	1	ASTM A-36	N,R	N,R
ELABORÓ		REVISÓ		APROBÓ
FABIO GÁFARO, SEBASTIAN DALLOS.		JESÚS PEDROZA		JESÚS PEDROZA
ESTUDIANTES DE INGENIERÍA MECÁNICA		INGENIERO MECÁNICO		INGENIERO MECÁNICO
23/07/2021				

Anexo 17. Instrucciones técnicas

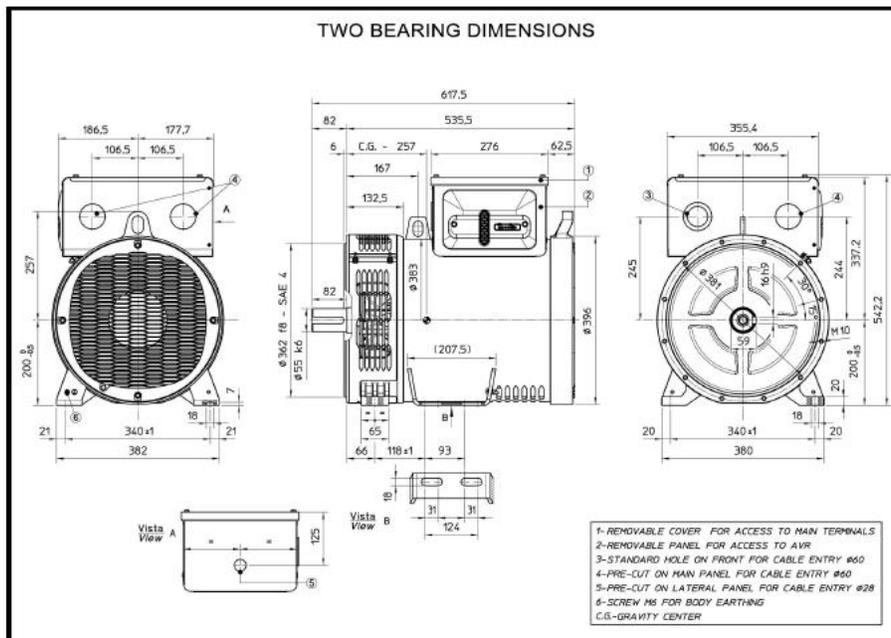
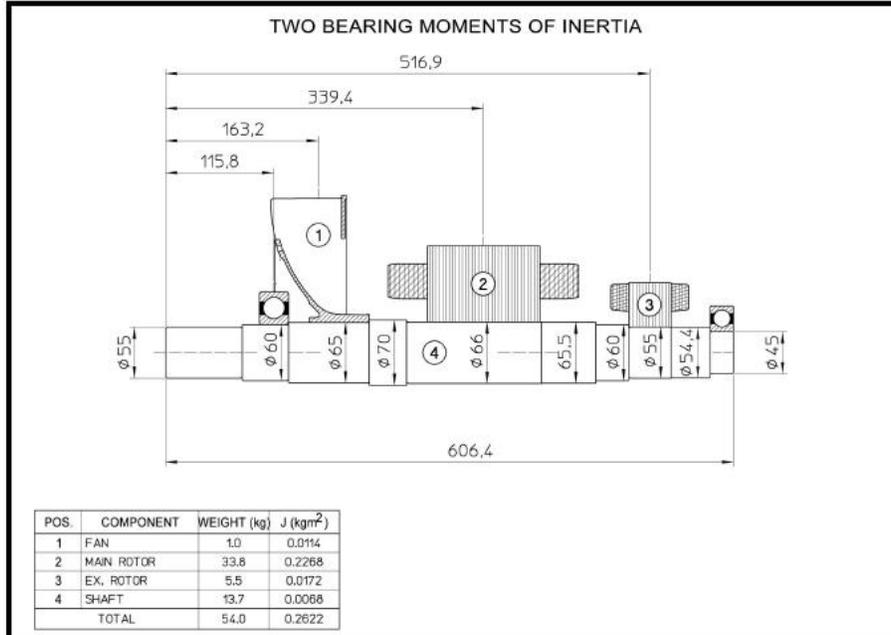
	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER		FORMATO 02
	INSTRUCCIONES TECNICAS GENERALES		
INSTRUCCIONES TECNICAS	CODIGO	TIEMPO (h)	
ELECTRICAS			
LIMPIEZA EXTERIOR E INTERIOR DEL ALTERNADOR	EL01		
COMPROBAR EL ESTADO DEL PUENTE DE DIODOS	EL02		
MECANICAS			
LIMPIEZA GENERAL	ME01		
LIMPIEZA DEL FILTRO DE AIRE	ME02		
INSPECCION VISUAL	ME03		
VERIFICAR EL ESTADO DEL DEVANADO	ME04		
VERIFICAR CORRECTO FUNCIONAMIENTO DEL ALTERNADOR	ME05		
COMPROBAR PAR DE APRIETE	ME06		
LUBRICACION			
REVISAR NIVEL DE ACEITE	LU01		
REVISAR PRESENCIA DE FUGAS	LU02		
LUBRICAR	LU03		
COMPLEMENTARIAS			
PINTURA	CO01		
SELLOS	CO02		
LIMPIEZA SEDIMENTO	CO03		
ELABORÓ		REVISÓ	APROBÓ
FABIO GAFARO, SEBASTIAN DALLOS		JESUS PEDROZA	JESUS PEDROZA
ESTUDIANTES DE INGENIERIA MECANICA		INGENIERO MECÁNICO	INGENIERO MECÁNICO
22/09/2021			

Anexo 19. Planos del alternador

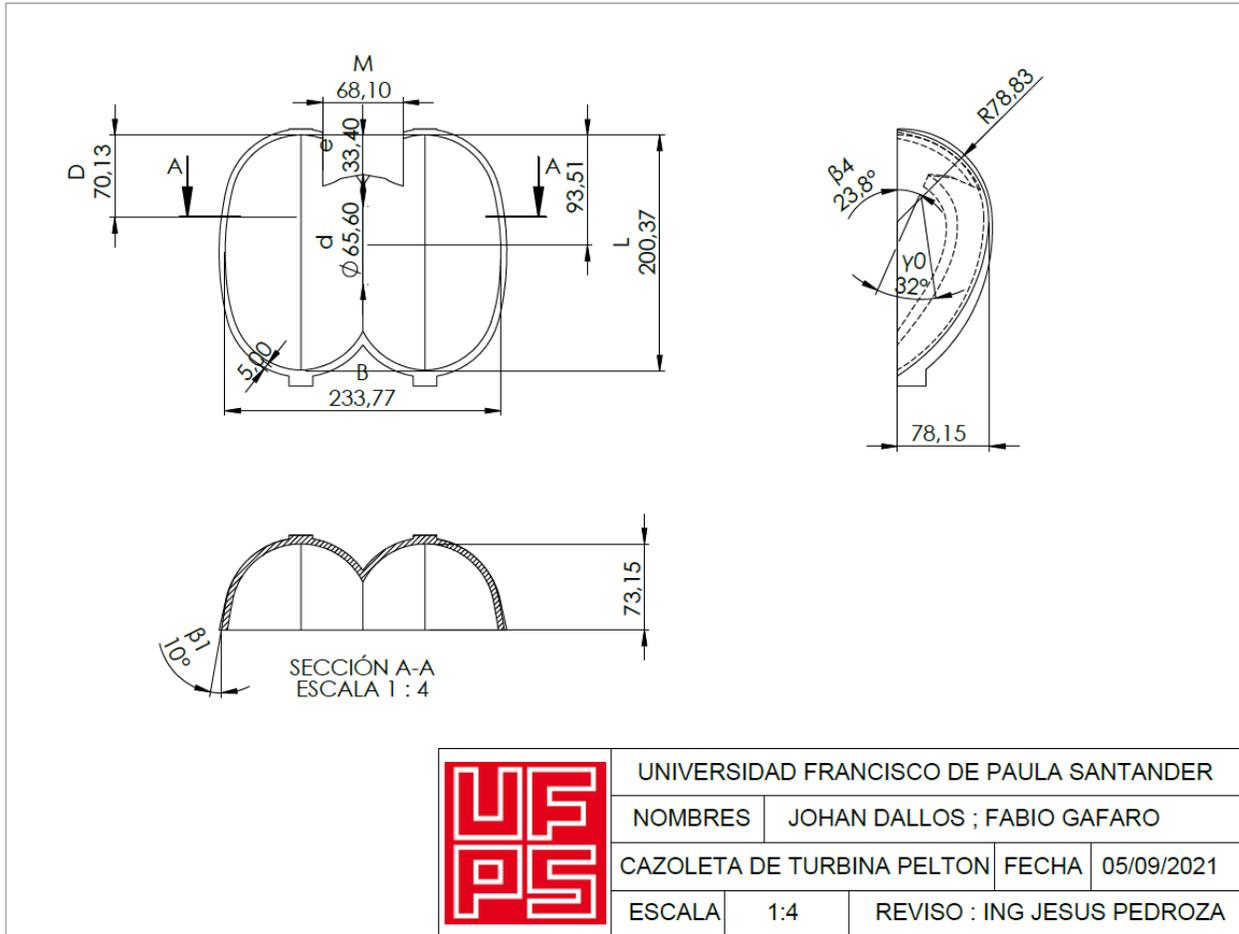
ECP32 4 C

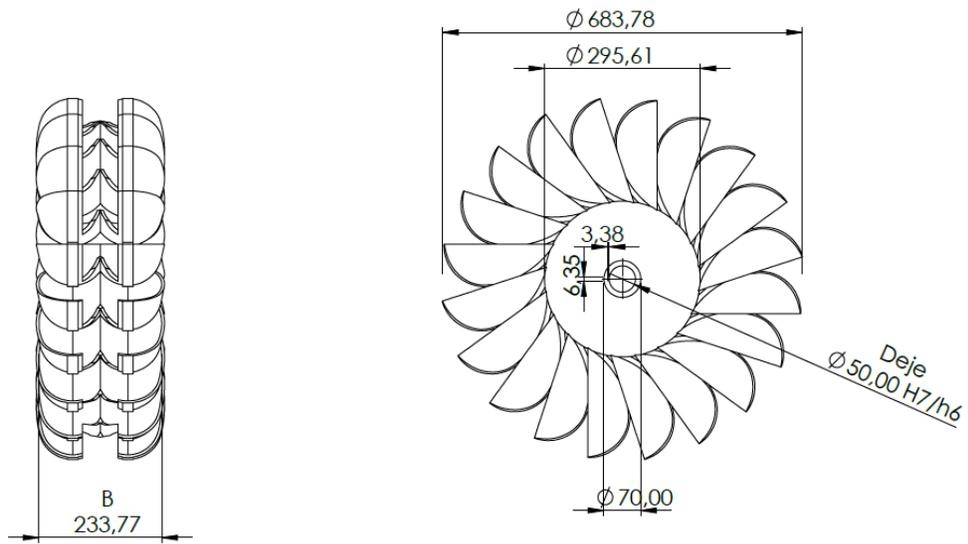


ECP32 1S4 C



Anexo 20. Planos de la microcentral





UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

NOMBRES | JOHAN DALLOS ; FABIO GAFARO

TURBINA PELTON

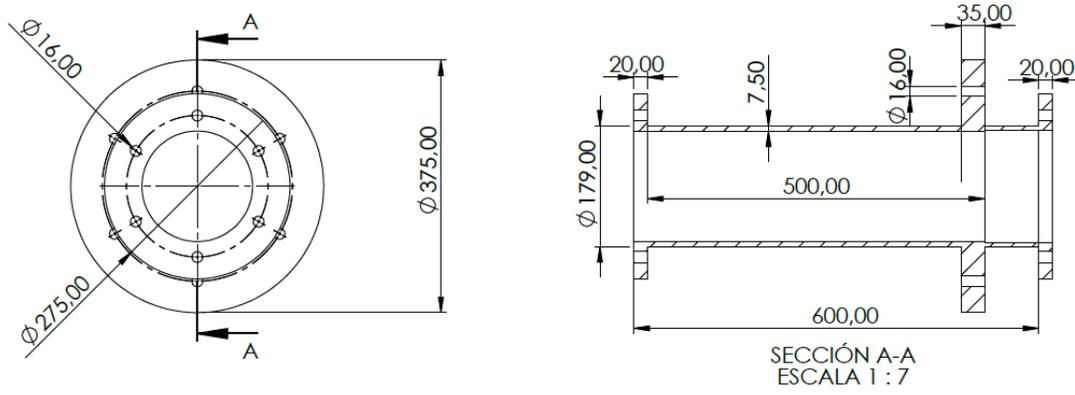
FECHA

05/09/2021

ESCALA

1:9

REVISO : ING JESUS PEDROZA



UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

NOMBRES JOHAN DALLOS ; FABIO GAFARO

TRAMO RECTO

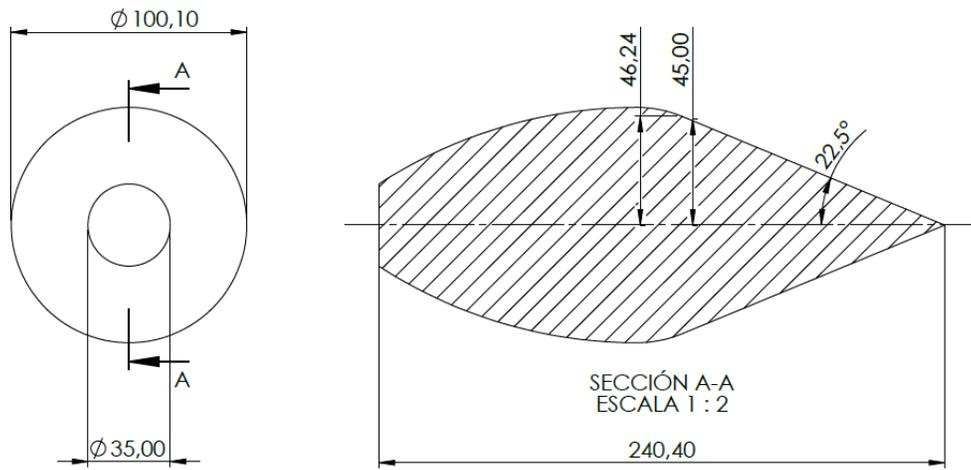
FECHA

05/09/2021

ESCALA

1:7

REVISO : ING JESUS PEDROZA



UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

NOMBRES JOHAN DALLOS ; FABIO GAFARO

PUNTA DEL INYECTOR

FECHA

05/09/2021

ESCALA

1:2

REVISO : ING JESUS PEDROZA

Anexo 21. Simbología

A : área transversal de la tubería

A_d : Área de la parte sin rosca

A_t : Área de la parte roscada

C : es la capacidad de base dinámica requerida para el rodamiento, expresada en KN

C_r : Constante de rigidez

D : diámetro interior de la tubería

d : diámetro del chorro

D_c : distancia entre chumaceras

D_i : diámetro interno de la tubería

D_p : es el diámetro Pelton

dt : es el diámetro de la boca a la salida de la tobera

dv : es el diámetro de vástago de la aguja

E : es el módulo de elasticidad

e_{min} : espesor mínimo de la pared

E_o : es un factor que contempla los acabados de fabricación y tolerancias por corrosión.

f : Coeficiente de resistencia Darcy-Weisbach

F : fuerza en la superficie del eje

F_a : carga axial igual a 0

FC : fuerza del chorro

F_o : es la carga radial sobre el rodamiento

$F1 - F2$: fuerza de la banda

F_i : Precarga

F_p : Factor de potencia

g : Es la fuerza gravitacional

h_A : energía adicionada por bombas

H_c : Espesor de la cuña

h_L : son las perdidas debido a la tubería y accesorios. pérdida de energía debido a la fricción

h_R : es la altura neta o salto aprovechable

i : es el número de toberas que llevara la turbina Pelton

I : es el momento de inercia de la sección del eje

K_c : El coeficiente de velocidad

K_u : es el coeficiente de la velocidad tangencial

Ku' : coeficiente de velocidad de rotación

kVa : kilovatio ampere

kW : kilovatio

L : longitud de la corriente del flujo

l : Longitud de la cuña

Lh : es la duración nominal en horas de funcionamiento

l_o : longitud del eje

M_{max} : Momento flector máximo

N : es el numero de revoluciones por minuto a las que gira la turbina

n : Factor de seguridad

η_g : Eficiencia del generador

n_L : Factor de carga

N_R : Numero de Reynolds

η_t : eficiencia de la turbina

η_{tr} : Es la eficiencia de la transmisión mecánica utilizada entre la turbina y el generador

P : Presión en la tubería, 1/3 para rodamientos de bolas y 3/10 para rodamientos de rodillos.

P_g : Es la potencia máxima que el generador entrega al sistema eléctrico

P_{greal} : Potencia real generada por la turbina

P_i : es la presión interna máxima a la que estará sometido el inyector

P_{max} : Potencia máxima generada

P_T : es la potencia al freno de la turbina

P_t : es la potencia de la turbina

Q : es el caudal medido en la toma

Q_0 : Es el caudal requerido, que saldrá por cada una de las toberas

r : Radio del eje

S_a : es el esfuerzo de la aguja, en Kg/m^2

S_d : esfuerzo de diseño del material $0,66S_y$

S_p : Resistencia de prueba mínima

S_{sy} : Resistencia al cortante

T : Torque

T_{max} : Torque máximo

V : es el valor estimado de la velocidad

WP : peso de la polea

WT : peso de la turbina

X : es un coeficiente radial del rodamiento, considerado como 1

z : Numero de cazoletas

α_2 : Angulo del chorro a la entrada

γ : peso específico del agua a 20°

ϵ : Rugosidad del material de la tubería

ν : viscosidad cinemática, velocidad promedio del flujo

\emptyset_{eje} = diámetro del eje.