



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE FACULTAD DE
INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS CARRERA DE
INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
EN INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**

TEMA:

**INSTRUCTIVO DE MONTAJE A UTILIZARSE EN EL
MANTENIMIENTO DE UNA TURBINA TIPO FRANCIS**

AUTOR: KEVIN FERNANDO PIÑEIRO BURBANO

DIRECTOR:

MSC. DIEGO LUIS ORTIZ MORALES

IBARRA, 2023



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DEL CONTACTO		
CÉDULA DE IDENTIDAD	0402079925	
APELLIDOS Y NOMBRES	PIÑEIROS BURBANO KEVIN FERNANDO	
DIRECCIÓN	TULCÁN - CARCHI, AV. CALDERON Y VENEZUELA	
EMAIL	pineiros.burbano.kevin@gmail.com	
TELÉFONO FIJO	TELÉFONO MÓVIL	0993281076
DATOS DE LA OBRA		
TÍTULO	INSTRUCTIVO DE MONTAJE A UTILIZARSE EN EL MANTENIMIENTO DE UNA TURBINA TIPO FRANCIS	
AUTOR	KEVIN FERNANDO PIÑEIROS BURBANO	
FECHA	17/07/2023	
PROGRAMA	PREGRADO	
TÍTULO POR EL QUE OPTA	INGENIERÍA EN MECATRÓNICA	
DIRECTOR	MSC. DIEGO LUIS ORTIZ MORALES	



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERIA EN MECATRÓNICA

CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 17 días, del mes de julio de 2023

EL AUTOR:

A handwritten signature in black ink, which appears to read "Kevin Piñeiros". The signature is written in a cursive style with a long horizontal line extending to the right.

Firma

Nombre: Kevin Fernando Piñeiros Burbano



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERIA EN MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTERGRACIÓN CURRICULAR

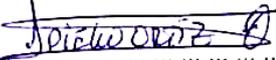
Ibarra, 17 de julio de 2023

MSC. DIEGO LUIS ORTIZ MORALES

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del trabajo de titulación, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Unidad Académica de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

(1) 
MSC. DIEGO LUIS ORTIZ MORALES
C.C.: 1001586997



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERIA EN MECATRÓNICA

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación se la dedico a toda mi familia, a mi madre Andrea Burbano quien supo guiar mis pasos y apoyarme en todo momento para que pueda cumplir esta meta. A mi padre Fernando Piñeiros quien me enseñó que frente a la adversidad no debo de rendirme, que para cumplir mis metas no debo rendirme. Estuvieron presentes para que nunca me faltara nada. Estoy eternamente agradecido con ellos, por el esfuerzo que realizaron para que llegue a este gran logro.

A mis hermanos Stiven y Keyled, quienes siempre me han acompañado y motivado a lo largo de mi vida.

Kevin Fernando Piñeiros Burbano



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERIA EN MECATRÓNICA

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios en primer lugar por bendecirme con la vida y permitirme llegar a la culminación de mi carrera profesional.

A mi madre Andrea Burbano, por cuidar de mi bienestar y salud en todo momento, por su preocupación, amor, cariño que solo una madre puede brindar. Por brindarme el apoyo y acompañamiento durante esta y muchas etapas de mi vida.

A mi padre Fernando Piñeiros por haberme brindado su apoyo incondicional y mi mayor motivación a no rendirme ante los problemas de la vida, quien ha sacrificado tanto para que yo pueda educarme en esta prestigiosa institución, por su sabiduría frente a los problemas que se presentaron durante este largo camino y por su comprensión ante los errores que pude cometer.

A mi abuelita, Martha Reina quien siempre ha estado preocupada por que siga adelante y no me rinda frente a las adversidades.

A mis hermanos Stiven y Keyled por brindarme su acompañamiento y aceptación.

A mis tías, Erika Burbano, Yomaira Burbano, Maritza Burbano y Carmen Reina por su enorme generosidad y por mantener siempre unida a nuestra familia.

Kevin Fernando Piñeiros Burbano

RESUMEN

El presente trabajo de investigación responde al desarrollo de un instructivo de montaje, que sea utilizado en el mantenimiento y operación de una turbina tipo Francis. El estudio parte desde el análisis y medición de las piezas que serán rectificadas para acciones de mantenimiento. Se realiza los planos de las piezas principales como documento base para ir definiendo puntos de referencia, holguras entre piezas, nivelación y alineación.

Se recopila la información que se obtiene usando métodos de medición, nivelación y alineación como datos referenciales que servirán para control del desgaste y acciones de mantenimiento preventivo. Se utiliza el programa SolidWorks para el diseño de algunas piezas seleccionadas antes analizadas, que permiten tener un registro de medidas y una vista en tercera dimensión. Este trabajo brindara una ayuda, para la identificación de errores y problemas presentes en el montaje para generar un adecuado funcionamiento.

Una vez finalizado la reconstrucción de algunas piezas que presentaron holguras excesivas, se realiza el montaje en base a los planos desarrollados, iniciando las pruebas de funcionamiento en vacío a velocidades de 25%, 50% 75% de la nominal controlando las vibraciones al tacto y las temperaturas en los diferentes cojinetes.

Los parámetros fueron normales, que dieron lugar al análisis de vibraciones dando como resultado el informe que se encuentra en condiciones normales para su funcionamiento.

Palabras clave: Turbina tipo Francis, Mantenimiento, Montaje, Hidroeléctrica.

ABSTRACT

The present research work responds to the development of an assembly guide to be used in the maintenance and operation of a Francis-type turbine. The study starts with the analysis and measurement of the parts that will be rectified for maintenance actions. Drawings of the main components are created as a baseline document to define reference points, clearances between parts, leveling, and alignment.

Information obtained through measurement, leveling, and alignment methods is collected as reference data that will be used for wear control and preventive maintenance actions. The SolidWorks program is used for designing some selected parts previously analyzed, allowing for recording measurements and a three-dimensional view.

This work will provide assistance in identifying errors and issues during assembly to ensure proper functioning. Once the reconstruction of some parts that had excessive clearances is completed, the assembly is carried out based on the developed drawings, and empty operation tests are initiated at speeds of 25%, 50%, and 75% of the rated speed, monitoring vibrations by touch and temperatures in different bearings.

The parameters were normal, resulting in a vibration analysis report indicating that the turbine is in normal operating conditions.

Keywords: Francis type turbine, Maintenance, Assembly, Hydroelectric.

CONTENIDO

CAPITULO 1	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. Descripción del problema	1
1.2. Objetivos	3
1.2.1. Objetivo General	3
1.2.2. Objetivos Específicos	3
1.3. Alcance	3
1.4. Justificación	3
CAPÍTULO II	4
MARCO REFERENCIAL	4
2.1. Antecedentes.....	4
2.2. Marco Teórico	5
2.2.1. Conceptos generales de una central de generación hidráulica	5
2.2.2. Clasificación de las hidroeléctricas	5
2.2.3. Centrales de pasada	6
2.2.4. Central Hidroeléctrica Hidro Carolina	7
2.2.5. Descripción del funcionamiento de una turbina tipo Francis horizontal	8
2.2.6. Principales acciones de un mantenimiento	17
2.6.1 Tipos de mantenimientos	17
2.2.7. Importancia del software CAD	20

2.2.8. Holguras y tolerancias	21
2.2.9. Métodos de comprobación de alineación y nivelación	29
2.2.9.2. Método EasyTurn	30
CAPÍTULO III	37
3.1. Modelo de investigación	37
CAPÍTULO IV	40
RESULTADOS Y ANÁLISIS	40
4.1. Especificaciones propuestas para el proceso	40
4.2. Especificaciones para el plan de mantenimiento	41
4.3. Ajustes y tolerancias	43
4.4. Proceso de montaje	46
4.4.1. Mediciones de precisión	46
4.4.2. Montaje grupo turbina generador	47
4.5. Proceso de nivelación y alineación.....	64
4.5.1. Acople turbina generador	65
4.5.2. Técnica de alineación borde-cara	65
4.6. Discusión de resultados	68
4.6.1. Pruebas de funcionamiento	68
CAPÍTULO V	71
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	71
5.1. Conclusiones.....	71

5.2. Recomendaciones	72
BIBLIOGRAFÍA.....	74
ANEXOS.....	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Partes de centrales hidroeléctricas de pasada [22]	7
Figura 2.2. Google Maps vista aérea San Gerónimo central hidroeléctrica Hidro Carolina [23]	8
Figura 2.3. Cuarto de máquinas central hidroeléctrica Hidro Carolina	8
Figura 2.4. Grupo N°2 Turbina tipo Francis central hidroeléctrica Hidro Carolina.....	10
Figura 2.5. Rodete del grupo N°2 central hidroeléctrica Hidro Carolina	11
Figura 2.6. Tubo de aspiración grupo N°2 hidroeléctrica Hidro Carolina	11
Figura 2.7. Eje del grupo N°2 de la central hidroeléctrica Hidro Carolina en mantenimiento	12
Figura 2.8. Elementos de una turbina tipo Francis [33]	13
Figura 2.9. Ajuste y colocación de laberinto en el grupo N°2 de la central hidroeléctrica Hidro Carolina	13
Figura 2.10. Verificación medida de separación entre cojinete axial y cojinete guía	14
Figura 2.11. Armado de cojinete radial del grupo N°2 de la central hidroeléctrica Hidro Carolina	15
Figura 2.12. Alabe directriz del grupo N°2 de la central Hidroeléctrica Hidro Carolina	15
Figura 2.13. Grupo N°2 de la central hidroeléctrica Hidro Carolina.....	17
Figura 2.14. Posiciones de tolerancias [42]	22
Figura 2.15. Ajustes: definiciones y generalidades [45].....	24
Figura 2.16. Método del reloj para alineación de ejes y generadores [49]	30
Figura 2.17. Simulación del uso del método Easy Turn por Easy Laser [49]	31
Figura 2.18. Simulación del uso del método multipunto por Easy Laser [49]	31
Figura 2.19. Simulación del uso del método barrido continuo por Easy Laser [49]	32
Figura 2.20. Simulación del uso del método barrido desacoplado por Easy Laser [49]	32
Figura 2.21. Formas de desalineamientos de ejes [41]	34
Figura 2.22. Eje deformado [50].....	35
Figura 2.23. Remolino de aceite [50]	36
Figura 2.24. Condiciones comunes de pata coja o pie suave [51].....	36
Figura 4.1. Vista explosionada de piezas diseñadas en SolidWorks	42
Figura 4.2. Ensamblaje de elementos que conforman la turbina tipo Francis.....	43

Figura 4.3. Mediciones realizadas en taller de las piezas de la turbina grupo N°2 de la central hidroeléctrica Hidro Carolina.	47
Figura 4.4. Trabajos de mantenimiento realizados en la central hidroeléctrica Hidro Carolina.	48
Figura 4.5. Nivelación de base de chumacera del grupo N°2 de la central hidroeléctrica Hidro Carolina.	48
Figura 4.6. Ajuste de pernos de la base del cojinete.	49
Figura 4.7. Trabajos de mantenimiento realizados en la central hidroeléctrica Hidro Carolina.	49
Figura 4.8. Chumacera inferior alineada y nivelada.	50
Figura 4.9. Comprobación de alineación del grupo N°2 utilizando un laser de nivel. ...	50
Figura 4.10. Comprobación de nivel al eje.	51
Figura 4.11. Montaje eje-cojinete.	51
Figura 4.12. Eje nivelado con respecto a la turbina.	51
Figura 4.13. Comprobación de nivel al eje.	52
Figura 4.14. Montaje eje-cojinete.	52
Figura 4.15. Cojinete guía.	53
Figura 4.16. Lubricación eje y cojinete.	53
Figura 4.17. Ensamblaje cojinete guía.	54
Figura 4.18. Cojinete guía nivelado y alineado.	54
Figura 4.19. Comprobación holgura entre unión cojinete guía y axial.	54
Figura 4.20. Unión entre cojinete inferior y superior.	55
Figura 4.21. Comprobación de nivel cojinete guía.	55
Figura 4.22. Tornillos colocados en su posición en chumacera inferior.	56
Figura 4.23. Ensamblaje chumacera con respecto al eje.	56
Figura 4.24. Armado final de chumacera.	56
Figura 4.25. Referencia entre chumacera y eje.	57
Figura 4.26. Ensamblaje laberinto con respecto al eje.	57
Figura 4.27. Posición final anillo laberintico y laberinto.	58
Figura 4.28. Movilización anillo exterior de caracola.	58
Figura 4.29. Posicionamiento anillo exterior de caracola.	59
Figura 4.30. Masillado borde exterior de rodete.	59
Figura 4.31. Movilización de rodete.	60
Figura 4.32. Rodete ingresando a el eje bajo presión.	60

Figura 4.33. Comprobación nivelación y alineación de rodete.	60
Figura 4.34. Movilización tapa de desfogue.....	61
Figura 4.35. Posicionamiento tapa de desfogue.	61
Figura 4.36. Zona de asentamiento de generador.	62
Figura 4.37. Movilización de generador.....	62
Figura 4.38. Alineación de generador.....	63
Figura 4.39. Nivelación de generador.....	63
Figura 4.40. Método de comprobación con reloj palpador 3-6-9-12.....	63
Figura 4.41. Unión generador y eje de la turbina.	64
Figura 4.42. Alineación incorrecta y correcta de los ejes [53]	64
Figura 4.43. Posicionamiento de ejes en base de generador.....	65
Figura 4.44. Técnica de alineación con la ayuda de reloj palpador.....	66
Figura 4.45. Marcación de PLC en revoluciones por minuto.....	68
Figura 4.46. Centro de máquinas, medición de voltaje	69
Figura 4.47. Chumacera – cojinete guía – cojinete axial.....	69
Figura 4.48. Rodete entre anillo exterior de caracola.....	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Clasificación de centrales hidroeléctricas MEER CONELEC [17]	5
Tabla 2.2. Clasificación según su caída OLADE [18].....	6
Tabla 2.3. Clasificación según su caudal [19]	6
Tabla 2.4. Características turbinas tipo Francis [26]	9
Tabla 2.5. Descripción tubo de aspiración grupo N°2 central hidroeléctrica Hidro Carolina	11
Tabla 2.6. Tabla tipo de ajustes: Juego y apriete	24
Tabla 2.7. Valores numéricos de amplitudes de las zonas de tolerancias [40].....	25
Tabla 2.8. Tabla de posición de tolerancia para ejes sección a-k [46]	26
Tabla 2.9. Tablas de posición de tolerancias para ejes sección m-zc [46]	27
Tabla 2.10. Tablas de posición de tolerancias para agujeros sección A-H [46].....	28
Tabla 2.11. Tablas de posición de tolerancias para agujeros sección R-U [46]	28
Tabla 2.12. Tablas de posición de tolerancias para agujeros sección V-ZC [46].....	29
Tabla 4.1. Tabla ajustes y tolerancias de piezas con uniones eje-agujero.....	45
Tabla 4.2. Tabla ajustes y tolerancias de piezas de unión entre diámetro exterior de rodete y carcasa anillo exterior turbina.....	46
Tabla 4.3. Tabla Ficha técnica del grupo turbina generador N°2 de la central hidroeléctrica Hidro Carolina	47
Tabla 4.4. Tabla Ficha técnica del generador del grupo N°2 de la central hidroeléctrica Hidro Carolina	47
Tabla 4.5. Características aceite Hidráulico Anti desgaste (AW) ISO VG 68 [52]	64

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. Descripción del problema

La red eléctrica de Ecuador tiene una capacidad instalada de 8 100 megavatios, de los cuales 5 310 son de centrales hidroeléctricas y el resto son de centrales térmicas, entre otras. La demanda del país es de solo 4 051 megavatios. La participación de la energía térmica en toda la producción del país ha caído del 36% en 2012 al 8% en 2020 [1].

Por otro lado, la generación de energía hidroeléctrica aumentó de 62% a 90% en el mismo período [2]. La región norte está regulada por la empresa eléctrica regional del norte S.A. “EMELNORTE” teniendo una energía generada de 44 250,13 MWh [3].

Según la agencia de regulación y control de electricidad 2018, el área que representa EMELNORTE referente a la prestación de servicios es de 11 862,10 km² en las cuatro provincias: Imbabura 36%, Carchi 32%, Sucumbíos 20% y Pichincha 12%, que brinda el uso de energía eléctrica y alumbrado público [4].

La hidroeléctrica Hidro Carolina se encuentra en San Gerónimo. Está localizada al norte de la Provincia de Imbabura, cantón Ibarra, en la Parroquia de Lita. Utiliza la corriente del río San Gerónimo, desembocando en el río Mira. Este caudal es variable y depende de la temporada anual de precipitación pluvial [5] y tiene un caudal aproximadamente de 31,27 m³/seg [6].

Se puede generar energía eléctrica a través de una central hidroeléctrica, por ello, ha tenido en el 2010 una potencia nominal de 0,60 MW [7] y para el 2018 aumento a 0,92 MW [3] la cual desde entonces se encuentra en funcionamiento e incorporada al sistema de red eléctrica “Hidro Imbabura”.

Cabe destacar que esta planta apoya a la red eléctrica, en la zona donde se encuentra. La planta hidroeléctrica “Hidro Carolina” está conformada por 3 turbinas tipo Francis, llamados grupos. El grupo para analizar en este trabajo es el número 2, que tiene una potencia máxima de 200 kVA, está compuesto por una turbina tipo Francis que data del año 1949.

Existe la necesidad de optimizar el rendimiento de las turbinas y sus componentes industriales, debido a que estos sufren degradaciones a lo largo de su vida útil. Si las deficiencias de las turbinas no son eliminadas, se reducirá paulatinamente su vida útil. El mantenimiento es una función que se encarga del control del estado de las instalaciones de todo tipo, y es el conjunto de acciones necesarias para conservar o restablecer el sistema, a un estado que permita su funcionamiento a una inversión baja [8].

A partir del año 2018, el grupo número 2 ha empezado a tener problemas especialmente al nivel del cojinete axial y el laberinto, y en el año 2019 presentó daños en uno de los cojinetes del generador. Por otro parte, esta turbina no ha presentado problema en el funcionamiento de tipo eléctrico. A pesar de las acciones correctivas no se ha podido solucionar este inconveniente, lo que ha motivado a los propietarios de la central a realizar una inversión que permita determinar a qué se deben estas fallas, cuáles son sus acciones correctivas y reparaciones requeridas [9].

Del análisis técnico realizado se llega a determinar de que el problema principal del conjunto turbina generador, se debe a holguras excesivas en varios de los elementos que componen el conjunto, lo que ha estado originando fuerzas axiales excesivas, que se reflejan en el daño a nivel de los cojinetes y el laberinto [9].

Solucionar este tipo de problema es muy importante, lo que se puede lograr si se evitan excesivas fuerzas axiales durante el montaje, y esto no provocara desequilibrios durante la puesta en marcha de la turbina. Estas holguras hacen que la alineación que se realiza en vacío pierda su línea de centros, aumenta su vibración y genera un desbalanceo de fuerzas [10].

Es por estas razones que se propone realizar un levantamiento de toda la información de los principales elementos fijos y giratorios para su verificación de medidas encontradas, determinación de holguras y definir acciones correctivas. Otras condiciones que se deberán analizarse son la nivelación, alineación y montaje del grupo turbina generador. Se realizará una prueba de funcionamiento una vez que se hayan concluido todos los trabajos de reconstrucción, cambio o adaptación de piezas.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Implementar un instructivo de montaje que se utilizara en el mantenimiento y en la operación de una turbina tipo Francis de la central hidroeléctrica Hidro Carolina.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Analizar los principales elementos de la turbina tipo Francis.
- Modelar, haciendo uso del diseño asistido por computador (CAD) a los principales elementos que conforman la turbina, tomando en consideración los ajustes y tolerancias.
- Definir el proceso operacional para la alineación, nivelación y montaje de la turbina.
- Realizar las pruebas de funcionamiento de la turbina tipo Francis.

1.3. Alcance

El presente trabajo se limita a realizar el levantamiento de los principales elementos fijos y giratorios de la turbina del grupo número 2 perteneciente a la central hidroeléctrica Hidro Carolina mediante el sistema CAD.

Se realizarán las hojas de procesos de alineación, nivelación y montaje con la finalidad de reconstruir o sustituir los principales elementos de la turbina que una vez montados permitirán que su nivelación y alineación se encuentren dentro de valores aceptables.

Además, se proporcionará información oportuna para un futuro plan de mantenimiento, el cual podrá desarrollarse en otro trabajo de investigación.

1.4. Justificación

Todas las empresas del sector energético buscan que sus procesos de producción estén en perfectas condiciones, con la finalidad de ahorrar costos. Aunque la optimización de máquina sea menor, supondrá una mayor generación de recursos y un ahorro económico en los diferentes mantenimientos.

La realización de este trabajo de investigación proporcionará un documento que servirá de ayuda para futuros trabajos que lleve la central hidroeléctrica Hidro Carolina. Este trabajo representará un aporte académico en futuros mantenimientos preventivos, para el desarrollo de nuevas alternativas y reducir las horas de parada de este grupo generador por fallas de tipo mecánico, lo que se reflejaría en aumentos de recursos económicos de la empresa por la venta de energía y así garantizar la estabilidad económica de la central.

CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL

2.1. Antecedentes

En el trabajo realizado [11], se planteó una propuesta para la gestión de mantenimiento. En este trabajo se planificó un mantenimiento de todo el sistema de la central Hidroeléctrica Ocaña basándose en el sistema de mantenimiento asistido por computadora “SISMAC”, permitiéndoles programar el plan de mantenimiento en función del equipo a mantener. Teniendo como resultados información necesaria del plan de mantenimiento de los equipos para el ingreso de datos en el programa anteriormente mencionado, permitió optimizar la implementación del mantenimiento preventivo basándose en la confiabilidad y los datos de fabricantes de los equipos. Permitiendo mostrar que una buena gestión de mantenimiento representa una inversión que a mediano y largo plazo demostrará que una propuesta para la gestión de mantenimiento dará beneficios monetarios y operacionales.

La investigación realizada [12], presenta un caso del proceso de rehabilitación de tres turbinas hidráulicas con capacidad de 15 MW cada una, estas son empleadas para abastecer energía eléctrica a la zona centro de México. En este trabajo se realizó un diagnóstico de posibles fallas y que acciones correctivas se deberán emplear, en donde se observaron problemas de desalineamiento del rotor respecto a sus chumaceras y el caracol. Al momento de realizar las pruebas de funcionamiento ocurrieron problemas, tal y como ocurrió en la prueba de rodadura, donde se encontraron problemas de alta vibración, especialmente para los cojinetes del lado de la turbina, principalmente vibración lateral y vibración axial.

En el trabajo [13], se implementó el mantenimiento predictivo en la empresa AGR-Rackend para obtener una mejor confiabilidad y disponibilidad en las máquinas de los diferentes procesos de la línea de producción de la planta. Para ello, se implementó la

validación de mantenimiento preventivo, formatos para el control del mantenimiento, las cartas de lubricación e implementación del mantenimiento basado en condición para predecir fallos. Dando como resultados puntos positivos, la ventaja de este tipo de mantenimiento es que al conocer el estado del equipo en cada momento permitirá detectar fallas en el estado inicial, evitando que las fallas alcancen niveles indeseables. Muestran que se resolvió problemas de carácter general del control de la planeación de mantenimiento de las maquinas que había impedido o retardado los procesos en el sector productivo.

En el trabajo [14], muestra información correspondiente a turbinas hidráulicas e información técnica del funcionamiento de una minicentral, planteando sistemas de monitoreo para posteriormente permitir el buen funcionamiento de esta. Plantea una metodología de obtención y organización de datos, utilizando una matriz con cada una de las variables para un posterior análisis, dando información técnica que se utiliza en minicentrales.

En la investigación realizada [15], presenta las características de una turbina hidráulica Francis, utilizando parámetros de funcionamiento utilizadas por una empresa local de generación de energía. Se describe aplicaciones de técnicas de monitoreo que pueden ser aplicadas a turbinas tipo Francis. Identifica una falla crítica que es la cavitación, sus consecuencias y sus tipos. Al igual que mi tema de trabajo presenta planos que se utilizan para ser utilizadas en el análisis de problemas para posteriormente aplicar su mantenimiento.

2.2. Marco Teórico

2.2.1. Conceptos generales de una central de generación hidráulica

Una central hidroeléctrica es una instalación que permite el aprovechamiento de agua en movimiento, que circula por los ríos para transformarlas en energía eléctrica utilizando turbinas acopladas a generadores. Después de este proceso, el agua se devuelve al río en las condiciones en que se tomó obteniendo un ciclo continuo [16].

2.2.2. Clasificación de las hidroeléctricas

Existen diferentes criterios de clasificación de las centrales hidroeléctricas, ya que los valores de clasificación pueden variar según el país. En Ecuador, la clasificación de centrales hidroeléctricas está dada por el Consejo Nacional de la Electricidad, que las clasifica según su potencia, según su caída y según su caudal lo que se muestra en tablas 1, 2 y 3.

Tabla 2.1. *Clasificación de centrales hidroeléctricas MEER CONELEC [17]*

Centrales hidroeléctricas	Capacidad
Grandes	Mayor a 50 MW
Medianas	Mayor a 10 MW hasta 50 MW
Pequeñas	Desde 1 MW hasta 10 MW
Mini	Mayor a 100 KW menor a 1000 KW
Micro	Desde 5 KW hasta 100 KW
Pico	Menores a 5 KW

Tabla 2.2. Clasificación según su caída OLADE [18]

Tipo de central	Baja (mts)	Media (mts)	Alta (mts)
Micro central	$H < 15$	$15 < H < 50$	$H > 50$
Minicentral	$H < 20$	$20 < H < 100$	$H > 100$
Pequeña central	$H < 25$	$25 < H < 130$	$H > 130$

Tabla 2.3. Clasificación según su caudal [19]

Centrales hidroeléctricas	Caudales
Micro	3 m ³ /seg
Mini	30 a 40 m ³ /seg
Pequeñas	60 m ³ /seg

2.2.3. Centrales de pasada

Una central hidroeléctrica de pasada utiliza el agua de los ríos que tiene una pendiente menor a 20 m (Tabla 2.2) y un caudal de 30 a 40 m³/seg (Tabla 2.3). En la temporada de precipitaciones abundantes logran desarrollar una potencia máxima, y dejan pasar el agua excedente. Durante la época seca la potencia disminuye en función del caudal. Se construye en los cauces del río mediante una presa para mantener un desnivel constante en la corriente de agua [21].

El agua pasa a través de canales y tuberías que accionan una turbina, que está al ser acoplada con un generador produce energía eléctrica. Los elementos principales de estas instalaciones son:

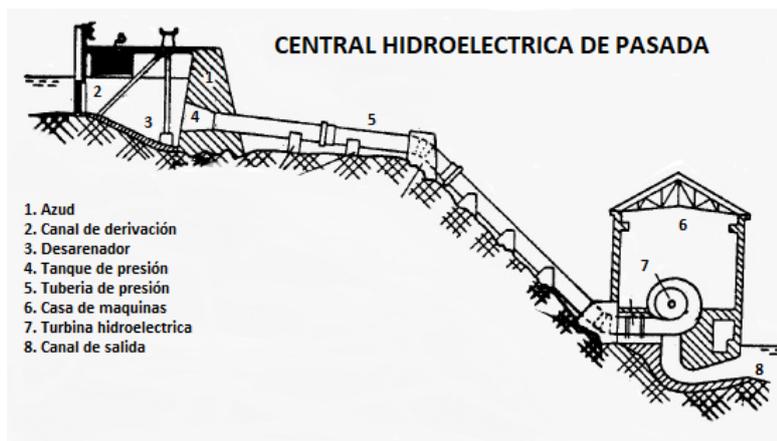


Figura 2.1. *Partes de centrales hidroeléctricas de pasada [22]*

1. Azud: Son muros dispuestos transversalmente al curso del agua de los ríos y sirven para desviar parte del caudal.
2. Canal de derivación: Lleva el agua desde el azud hasta las turbinas de la central.
3. Desarenador: Es un tanque de mayor dimensión en el que las partículas en suspensión pierden velocidad y son decantadas, cayendo al fondo.
4. Tanque de presión: La velocidad del agua es cercana a cero, empalma con la tubería a presión, y debe evitar el ingreso de sólidos.
5. Tubería de presión: Es la tubería que transporta el caudal a la turbina; se apoya en anclajes que soportan la presión de agua y la dilatación por cambios de temperatura.
6. Casa de máquinas: Es el sitio donde se encuentra la turbina, los generadores, los equipos auxiliares y equipos de protección. Allí se transforma la energía hidráulica en mecánica para posteriormente ser convertida en energía eléctrica.
7. Turbinas hidráulicas: Son maquinas que transforman la presión del agua, en energía mecánica de rotación.
8. Canal de salida: Descarga el agua al río para poder seguir captando el caudal.

2.2.4. Central Hidroeléctrica Hidrocarolina

La central hidroeléctrica “Hidrocarolina”, se encuentra en la provincia de Imbabura, sector San Gerónimo. Esta turbina aprovecha los caudales del río San Gerónimo, cuyas aguas desembocan en el río Mira. Para el acceso, se accede por la vía San Lorenzo.

Imagen satelital proporcionada por Google Maps de San Gerónimo:

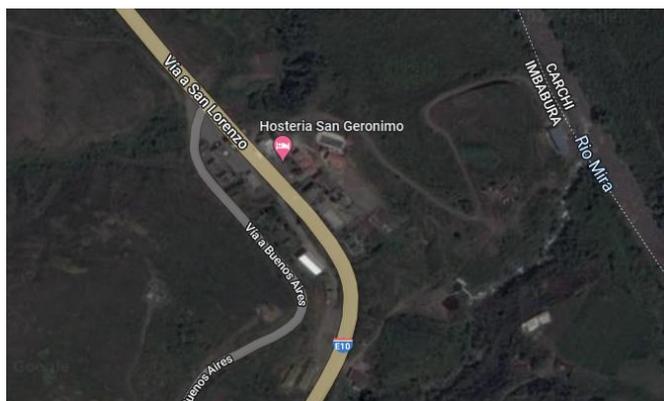


Figura 2.2. *Google Maps vista aérea San Gerónimo central hidroeléctrica Hidrocarolina [23]*

La Central Hidroeléctrica Hidrocarolina se encuentra junto al río Mira, está equipada con 3 turbinas tipo Francis con sus diferentes partes electromecánicas, que generan energía eléctrica por el caudal del río San Gerónimo.



Figura 2.3. *Cuarto de máquinas central hidroeléctrica Hidrocarolina*

2.2.5. Descripción del funcionamiento de una turbina tipo Francis horizontal

2.2.5.1. Turbinas

Las turbinas son turbomáquinas que permiten el intercambio de energía del agua en energía rotacional a un rotor de alabes; éste cambia la energía que es impulsada por la presión, en energía mecánica a través de la rotación de su eje. La capacidad de trabajo impulsada por la presión depende del flujo de agua que, con una altura estática y un caudal

definido, entra en una cámara espiral cerca de las palas del rodete, proporcionando un movimiento de rotación que se transmite al generador para el desarrollo de la energía [24].

2.2.5.2. Turbinas tipo Francis

Las turbinas tipo Francis fueron inventadas por James Francis, Gran Bretaña 1848, mediante la reacción que ejerce el agua sobre los alabes, permite convertir la energía mecánica en energía cinética para finalmente producir energía. El rendimiento de las turbinas Francis es superior al 90% en condiciones óptimas de funcionamiento y permite variaciones de caudales entre el 40% y el 105% [25].

En la siguiente tabla se listan las características de las turbinas tipo Francis:

Tabla 2.4. Características turbinas tipo Francis [26]

Turbinas Tipo Francis		
Características:	Valor:	Unidad:
Velocidad específica:	Lenta: 60 a 150 Normal: 150 a 250	m/s ²
Caudal:	1 a 500	m ³ /s
Altura:	30 a 750	metros
Eficiencia Normal:	92 al 94	%

2.2.5.3. Principales componentes de una turbina tipo Francis

En la siguiente ilustración se describen los principales componentes de una turbina tipo Francis, pertenecientes al grupo N°2 de la central hidroeléctrica Hidrocarolina.



Figura 2.4. *Grupo N°2 Turbina tipo Francis central hidroeléctrica Hidrocarolina*

1. Caracola: Está constituida por uniones sucesivas, cuyos ejes respectivos forman una espiral circular que va decreciendo paulatinamente hasta que realiza el cierre de la cámara. Debido a su diseño se consigue que el agua circule con velocidad constante, evitándose pérdidas de carga [27].
2. Regulador de velocidad: Consta de un servomecanismo que sirven para mantener constante la velocidad de giro de la turbina y la frecuencia de la energía eléctrica generada [28].
3. Generador: Es una maquina acoplada a la turbina, que convierte la energía mecánica de rotación en energía eléctrica.
4. Volante de inercia: Es un elemento totalmente pasivo, aporta al sistema una inercia adicional. Al incrementarse la inercia del sistema, ayuda a que se reduzcan las fluctuaciones de velocidad. Suelen emplearse para reducir las variaciones de velocidad [29].
5. Cojinete hidrodinámico: Son Subsistemas que son fabricados en fundición gris y están protegidos con un recubrimiento en babbitt que permite la resistencia al desgaste y con el uso de lubricantes evitar la fricción generada [29].

2.2.5.4. Funcionamiento de los principales elementos

- **Rodete**

Está constituido por un número de alabes que se encargan de realizar la conversión de energía hidráulica a energía mecánica rotacional gracias al pase del agua. Son fundidos y soldados con su conjunto de alabes móviles, tiene un rendimiento anti cavitación y anticorrosión [30]. Se construyen de materiales de alta dureza como el acero inoxidable 316 que dan buenos resultados ante pruebas de resistencia a la corrosión, cavitación y erosión [31].

Al entrar en contacto con el agua, el sentido de giro del rodete no coincide con la dirección de entrada y salida del agua. Al entrar en contacto cambia de dirección, velocidad y presión. Provocando dos fuerzas de tipo axial y radial, dando origen a la potencia de la turbina [32].



Figura 2.5. Rodete del grupo N°2 central hidroeléctrica Hydrocarolina

- **Tubo de aspiración**

Tiene la función de mantener el flujo de agua en continuidad. El tubo se encarga de recuperar la mayor parte de la energía cinética del agua, llegando hasta el nivel del canal para su evacuación [32].



Figura 2.6. Tubo de aspiración grupo N°2 hidroeléctrica Hydrocarolina

A continuación, se especifica diámetros referentes al tubo de aspiración.

Tabla 2.5. Descripción tubo de aspiración grupo N°2 central hidroeléctrica Hydrocarolina

Tipo de maquina	Medida	Unidad
Diámetro externo	112	mm
Diámetro interno	108.4	mm

- **Eje**

El eje al estar rígidamente unido mediante un acoplamiento al eje del generador transmite al rotor del generador el movimiento de rotación para finalmente generar energía.

Soporta diferentes tipos de fuerzas como son:

- De flexión que se da por la fuerza hidráulica del agua que fluye a través de las palas del rotor.
- De torsión que ocurre cuando el rotor gira por la fuerza hidráulica del agua.
- Centrifuga: A medida que el rotor gira, las palas del rotor empujan el agua hacia afuera, creando una fuerza centrífuga en el eje.

Transmite el movimiento de rotación del eje al generador por medio de un acople que se encuentra a un extremo del eje [32]



Figura 2.7. Eje del grupo N°2 de la central hidroeléctrica Hidrocarolina en mantenimiento

El eje debe soportar la fuerza de empuje (axial) por la presión que se genera por el agua que se aloja entre el rodete y la tapa lateral opuesta a la succión, transmite una fuerza del eje en dirección +Z [33].

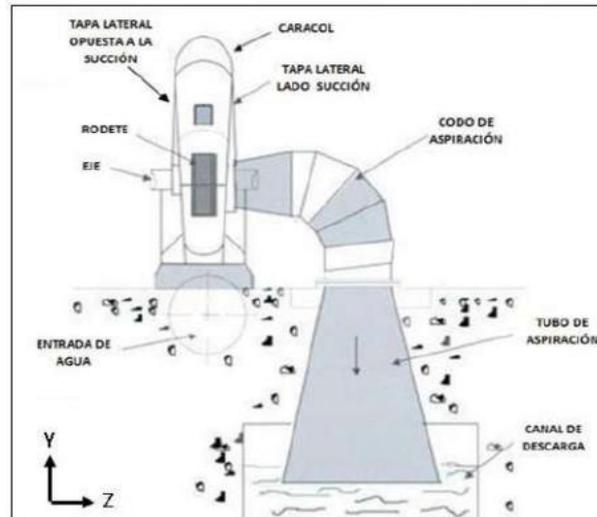


Figura 2.8. Elementos de una turbina tipo Francis [33]

- **Laberinto**

Se encarga de sellar, cerrar e impedir el paso de agua, que pueda fluir desde el rotor hacia el exterior de la turbina. La serie de aros concéntricos, se disponen de manera alterna entre la parte giratoria y la parte fija, contribuyendo eficazmente al cierre hidráulico, conocidos como los laberintos [32].



Figura 2.9. Ajuste y colocación de laberinto en el grupo N°2 de la central hidroeléctrica Hidrocarolina

- **Cojinete guía**

Este cojinete es el centro de apoyo que soporta las fuerzas que se genera en el eje, el peso de los componentes y mantiene centrado el eje de la turbina. Tiene que mantener el eje

centrado con sus otros componentes respecto al caracol de la turbina sobre los sellos mecánicos. Se constituye en dos mitades, que se asientan sobre el eje y las superficies en contacto están recubiertas de material antifricción [34].

El cojinete guía debe funcionar bajo el principio de lubricación hidrodinámica. Las fuerzas que soporta son: la velocidad de rotación y la carga axial [32]. También existe el anillo de bombeo, que permite que el lubricante sea bombeado. La película de aceite entre el eje y el cojinete hace que se genere una presión para evitar el contacto entre las dos partes. Si existe algún desgaste que lleve a perder la capa fina de lubricación que ocupa el eje, comenzará a generar altas temperaturas que perjudican la rotación del conjunto. [35].

Para el caso de la fuerza axial este cojinete trabaja en conjunto con un cojinete de tipo axial.



Figura 2.10. Verificación medida de separación entre cojinete axial y cojinete guía

- **Cojinete axial**

El cojinete axial es una pieza crucial en el diseño y funcionamiento de una turbina tipo Francis. Es el encargado de soportar la carga axial generada por el movimiento de los componentes que transforman el movimiento del agua en energía eléctrica. La carga axial es la fuerza que actúa a lo largo del eje de la turbina, en la dirección del flujo de agua. Si el cojinete axial no es capaz de soportar adecuadamente la carga axial, puede ocurrir un fallo en la turbina, lo cual puede resultar en una parada de la máquina o incluso en daños permanentes sobre sus componentes [32].

Si la separación entre los cojinetes guía y los cojinetes axiales está dentro de la película mínima de lubricación, el conjunto soportara la carga axial generada en el proceso de generación de energía. Al generarse una variación o aumento de holgura entre la cara del cojinete guía y la del cojinete axial empieza a aumentar la temperatura en todo el

conjunto. Las separaciones adecuadas entre los cojinetes guía y los cojinetes axiales son cruciales para el correcto funcionamiento y la vida útil de la turbina tipo Francis [32].

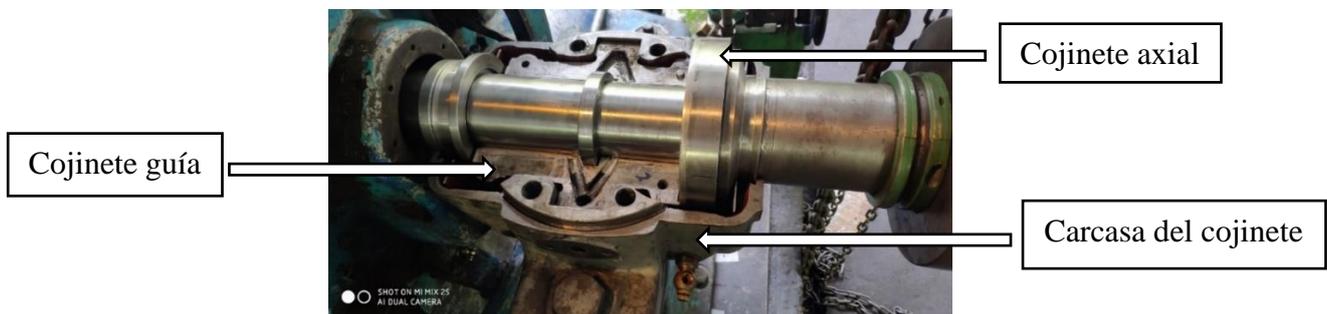


Figura 2.11. Armado de cojinete radial del grupo N°2 de la central hidroeléctrica Hydrocarolina

- **Alabes directrices**

Son palas fijas que regulan el caudal admitido y modifican la potencia de la turbina, ajustándose a las variaciones de carga, cada una de ellas pueden orientarse dentro de ciertos límites, al girar su eje pasando de la posición de cierre total hasta la de máxima apertura, Los álabes directrices están hechos de acero inoxidable mismo material utilizado en el rodete. El distribuidor permite regular el caudal de la turbina sin que el flujo del agua sufra desviaciones bruscas, permitiendo un rendimiento elevado incluso con cargas reducidas. Estos álabes móviles pueden girar alrededor de un eje paralelo al eje de la máquina, y el movimiento de apertura y cierre es simultáneo para todos ellos [32].



Figura 2.12. Alabe directriz del grupo N°2 de la central Hidroeléctrica Hydrocarolina

2.2.5.5. Descripción de funcionamiento

El funcionamiento de una turbina Francis se basa en la ley de conservación de la energía, que establece que la energía no puede ser creada ni destruida, solo se transforma de una forma a otra. La energía hidráulica del agua que fluye a través de la turbina se transforma en energía mecánica del rotor y luego en energía eléctrica a través del generador. La energía cinética del agua se convierte en energía mecánica cuando el agua fluye a través de las paletas del rotor. Las fuerzas que actúan en la turbina Francis son la fuerza de empuje y la fuerza de reacción [32].

- La fuerza de empuje es la fuerza que ejerce el agua en la superficie curva de las paletas del rotor. Esta fuerza impulsa al rotor a girar en la misma dirección que el flujo de agua.
- La fuerza de reacción es la fuerza que actúa en la carcasa de la turbina como resultado del cambio en la dirección y velocidad del agua a medida que fluye a través de las paletas del rotor. Esta fuerza se equilibra con la fuerza de empuje y evita que el rotor se mueva hacia adelante o hacia atrás

Después de pasar a través del rotor, el agua fluye hacia la salida de la carcasa de la turbina, donde su energía ha sido transferida al rotor. El agua ahora tiene una velocidad y presión más bajas, lo que significa que su energía cinética se ha convertido en energía mecánica en el rotor. Esta energía mecánica se transfiere a través de un eje conectado a un generador eléctrico, donde se convierte en energía eléctrica. Las fuerzas que actúan en una turbina Francis son la fuerza de empuje y la fuerza de reacción, que se equilibran para permitir que el rotor gire y convierta la energía hidráulica en energía mecánica y eléctrica. La eficiencia y el rendimiento de la turbina dependen de muchos factores, como la geometría de las paletas del rotor, el diseño de la carcasa de la turbina y la calidad del agua que fluye a través de ella [32].



Figura 2.13. Grupo N°2 de la central hidroeléctrica Hidrocarolina

2.2.6. Principales acciones de un mantenimiento

Existen diferentes tipos de mantenimientos, estos buscan la optimización del rendimiento de las instalaciones de las plantas industriales, debido a que las diferentes máquinas sufren a lo largo de su vida útil una serie de degradaciones. Es necesario aplicar acciones inmediatas, si no se las trata a tiempo su rendimiento disminuye y al final su vida útil se reduce [36].

2.6.1 Tipos de mantenimientos

- **Mantenimiento correctivo**

Se ocupa de la reparación una vez se haya producido el fallo y se da el paro súbito de la máquina. Se repara la maquinaria a medida que presenta fallas, y los tiempos para volver a operar pueden ser muy largos. Por lo general, en este tipo de mantenimiento se debe empezar de cero cada vez que se presenta un problema, sus aplicaciones son [37]:

- Cuando el costo total de las paradas ocasionadas sea menor que el coste total de las acciones preventivas.
- Esto sólo se da en sistemas secundarios cuya avería no afectan de forma importante a la producción.
- Estadísticamente resulta ser el aplicado en mayor proporción en la mayoría de las industrias.

- **Mantenimiento Preventivo**

Se pretende reducir la reparación mediante una rutina de inspecciones periódicas y la renovación de los elementos dañados. Consiste en programar revisiones de los equipos, los históricos obtenidos en el transcurso de su funcionamiento [37].

Un programa regular de mantenimiento preventivo garantizará el rendimiento superior, reducirá los tiempos muertos y aumentará la vida del equipo. Un programa de mantenimiento propuesta por Nidec Kato Engineering para centrales hidroeléctricas, es una guía para el funcionamiento bajo condiciones estándar. Las condiciones específicas de funcionamiento pueden requerir reducir o aumentar los intervalos de mantenimiento o las actividades en función del tipo y tamaño de una central hidroeléctrica [38].

Diariamente:

- Comprobar visualmente que los alojamientos de cojinetes del generador no muestren filtraciones de aceite.
- Comprobar las temperaturas de funcionamiento.
- Verificar que el voltímetro del panel de control tenga la estabilidad y la salida de voltaje adecuado.
- Con los cojinetes de fricción lubricados, se comprueba los niveles de temperaturas de funcionamiento y del indicador visual.

Semanalmente:

- Inspeccionar visualmente que el exterior de los cojinetes no tenga suciedad y limpiarlos de ser necesario.
- Inspeccionar que los filtros de aire del generador no contengan acumulación de contaminantes y limpiar o reemplazar cuando sea necesario.

Cada 2000 horas o 6 meses de funcionamiento:

- Comprobar que los transformadores, fusibles, capacitores y pararrayos no tengan sujeciones sueltas ni daños físicos.
- Con los generadores que tengan cojinetes de bola o de rodillo, comprobar las vibraciones de la máquina y la condición de los cojinetes.
- Volver a engrasar los cojinetes. Con los generadores que tengan cojinetes de fricción lubricados, inspeccionar que el aceite de los cojinetes tenga los niveles y claridad adecuados.

Cada 8000 horas o 1 año de funcionamiento:

- Comprobar que la conexión del rectificador de rotación esté bien apretada.
- En los generadores que tengan cojinetes de fricción, cambiar el aceite de los cojinetes.

Cada 20,000 horas o 3 años de funcionamiento:

- Realizar una inspección de los cojinetes de fricción. Verificar que no presenten desgaste ni estrías.
- Retirar las abrazaderas del extremo e inspeccionar visualmente que el devanado del extremo del generador no tenga contaminación de aceite ni de suciedad.
- Inspeccionar que el ventilador y el cubo del ventilador no tengan daños.

Cada 30,000 horas o 5 años de funcionamiento:

- Desarmar el generador.
- Limpiar el devanado del generador usando alguna de las opciones siguientes: aire comprimido, disolvente eléctrico, desengrasante y lavado con agua caliente a alta presión.
- Con los generadores que tienen cojinetes de bola o de rodillo, reemplazar los cojinetes.
- Con generadores que tengan cojinetes de fricción, cambiar las camisas de los cojinetes y los retenes de aceite

- **Mantenimiento Predictivo**

Este mantenimiento se basa en predecir la falla antes de que esté se produzca. Para lograrlo este tipo de mantenimiento se utiliza herramientas y técnicas para monitorear los parámetros físicos, los métodos más usados que utiliza el mantenimiento predictivo son [36]:

- **Medición de temperaturas:** Detecta anomalías que van acompañadas de generación de calor en exceso. Permite saber el estado de los equipos, la lubricación y rozamientos; mediante termografías superficiales.
- **Medición de vibraciones:** El análisis de las vibraciones puede proporcionar suficiente información para saber que partes comienzan a desgastarse y a existir un desbalanceo dentro del equipo.

2.2.7. Importancia del software CAD

A principios de la década de los 70s varias compañías empezaron a ofrecer sistemas de diseño/dibujo automatizado. Con el tiempo fueron desarrollándose programas para trabajos específicos, para diversas ingenierías que facilitaron y ayudaron en gran medida al desarrollo mecánico [39].

2.2.7.1. Tipos de herramientas CAD

- **Herramientas 2d para la construcción de planos**

Este tipo de software es muy útil para la construcción de planos de piezas industriales, viviendas, instalaciones industriales, circuitos, etc. Algunos ejemplos de programas que permiten estos modelos son: AutoCad, TurboCad, IntelliCad y Microstation [32].

- **Software para modelamiento**

Este tipo de software es muy útil para la elaboración de una pieza virtual en tres dimensiones, pues permite apreciar cómo se verá la pieza una vez terminada. Suelen tener opciones de acabado final de la pieza virtual. Algunos ejemplos que permiten obtener estos modelos son: Blender SketchUp, 3D Studio y Solidworks [32].

2.2.7.2. Características de las herramientas CAD

Las características generales de las herramientas CAD se listan a continuación [40]:

- Permiten dibujar de una manera ágil, rápida y sencilla, con acabados bastante buenos.
- Las herramientas CAD permiten, a la vez, ver en la pantalla las vistas de planta, cortes o vistas necesarios del modelo que se está construyendo y también posibilita modificar en cualquier momento las características de este.
- Muchos programas CAD permiten la creación de menús personalizados y programas de aplicación adaptados a necesidades particulares, lo que facilita el uso y la interacción del usuario con el programa.

Las herramientas CAD han brindado grandes ventajas a lo largo del tiempo, pero no debemos olvidar que el software utilizado en el dibujo o diseño de elementos es solo una herramienta, por lo que se deberá aplicar las normas y criterios de diseño para poder tener un resultado acorde a las normativas vigentes.

2.2.8. Holguras y tolerancias

2.2.8.1 Holguras

Los problemas de holgura son muy comunes en todo sistema mecánico. Estos se producen principalmente debido al desgaste que sufren determinados componentes a lo largo de su ciclo de vida debido al contacto entre sí. Estos desgastes físicos de los componentes generan tolerancias excesivas, lo que supone un aumento de vibraciones por el desajuste entre los diferentes elementos [41].

2.2.8.2. Tolerancias

La tolerancia se refiere principalmente a las dimensiones de un elemento dado que debe fabricarse, también puede incluir a la forma y posición de las superficies que lo limitan, puesto que, la forma de una superficie mecanizada no será nunca absolutamente plana, cilíndrica, circular o esférica. Teniendo en cuenta además los errores inevitables en la medición de las piezas, las tolerancias citadas deben disminuirse a efectos de poder garantizar que todas las piezas obtenidas cumplan con las cotas del plano, y de ese modo pueda esperarse que su funcionamiento responda según lo previsto [42].

- **Posición de la tolerancia:**

Para cada grupo de medidas y cada calidad se debe fijar la posición de la zona de tolerancia respecto a la medida nominal (Línea Cero), que puede estar localizada por encima o debajo de la misma. Se utilizan letras del abecedario, las mayúsculas son para los agujeros y las minúsculas para los ejes. Para definir la posición de la zona de tolerancias se utiliza la Figura 14 [42].

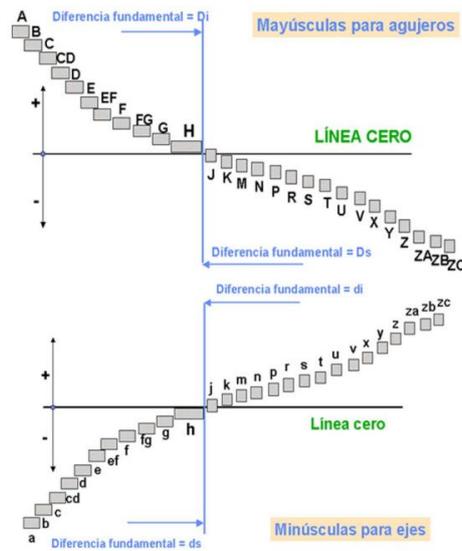


Figura 2.14. *Posiciones de tolerancias* [42]

El valor de la tolerancia en la medida de una pieza depende de la utilidad a la que se va a asignar. En la fabricación de piezas de trabajo que se montan con otras, se eligen tolerancias medias, y en la fabricación de productos semiacabados, se eligen tolerancias amplias. Dependiendo de la tolerancia, quedaría definido el tipo de ajuste, el mismo que se aplica más adelante [43].

2.2.8.3. Ajustes

Los ajustes entre agujeros y ejes son una parte importante del diseño de máquinas y sistemas mecánicos. Se utilizan para garantizar que los componentes se ajusten de manera precisa y segura para su correcto funcionamiento. Los ajustes se refieren a la tolerancia permitida entre el diámetro del eje y el diámetro del agujero en el que se inserta el eje. En el ensamble de turbinas hidroeléctricas, se utilizan ajustes entre agujeros y ejes para garantizar un acoplamiento adecuado, condiciones de montaje o desmontaje y evitar el deslizamiento, estos factores en las operaciones de mantenimiento se relacionan con el termino holgura. Los ajustes pueden ser de diferentes tipos y se seleccionan en función de la precisión requerida, la velocidad de rotación y la carga de trabajo [42].

El acoplamiento será móvil, cuando exista entre eje y agujero un cierto espacio radial (juego), destinado a consentir el movimiento relativo de rotación, traslación, y además a contener la película lubricante. Será forzado cuando el eje queda fijado al agujero mediante una fuerza que suprime el movimiento relativo entre ambos. Para que ello ocurra, el diámetro del eje debe ser mayor que el diámetro del agujero [42].

Los principales tipos de ajustes entre agujeros y ejes son:

- Ajuste fijo o con apriete

Este se produce cuando el diámetro del eje es ligeramente mayor que el diámetro del agujero correspondiente. El ensamblaje se realiza mediante la aplicación de fuerza, utilizando herramientas especiales, como prensas o martillos, para colocar el eje en el agujero. La interferencia entre las piezas asegura una conexión sólida y estable [43].

El rango de tolerancia varía según su aplicación. Como los ejemplos: H11 a12, H7 k6, K7 h6, h5 M6 dependiendo de la máquina y aplicación que use se utiliza las variaciones de tolerancias donde se aumenta o disminuye el diámetro del eje o agujero [44].

Formulas utilizadas para el cálculo de apriete [43]:

$$\text{Apriete máximo} = \text{Valor cota máxima del eje} - \text{Valor cota mínima del agujero} \quad \text{Ec. 1}$$

$$\text{Apriete mínimo} = \text{Valor cota mínima del eje} - \text{Valor cota máximo del agujero} \quad \text{Ec. 2}$$

- Ajuste móvil o con juego

En este ajuste, el diámetro del eje es ligeramente menor que el diámetro del agujero correspondiente, lo que permite una pequeña holgura entre las piezas. Este tipo de ajuste se utiliza cuando se requiere cierta flexibilidad en la conexión, como en piezas que están sometidas a vibraciones o cargas variables [43].

El rango de tolerancia varía según sea su aplicación. Como los ejemplos: H11 c11, D9 d10. Al hablar de un ajuste juego móvil este tendrá más distancia de separación [44].

Formulas utilizadas para el cálculo de juego máximo y mínimo [43].

$$\text{Juego máximo} = \text{Valor cota máxima del agujero} - \text{valor cota mínima del eje.} \quad \text{Ec. 3}$$

$$\text{Juego mínimo} = \text{Valor cota mínima del agujero} - \text{valor de la cota máxima del eje} \quad \text{Ec. 4}$$

- Ajuste de indeterminado

Este ajuste se produce cuando el diámetro del eje y el diámetro del agujero son iguales. La conexión se realiza mediante la aplicación de una pequeña cantidad de fuerza o presión, como un golpe suave con un martillo de goma, para asegurar un ajuste correcto [43].

El rango de tolerancia varía según la máquina y aplicación requerida. Como ejemplo: H11 g6, H8 h5, F8 h7. Al estar en un ajuste indeterminado la pieza esta

próxima a la medida del agujero y eje las variaciones ayudan a que se pueda aplicar la necesidad que requieran las piezas [44].

Fórmulas para el cálculo de juego y apriete [43].

$$\text{Juego máximo} = \text{Valor cota máxima del agujero} - \text{Valor cota mínima del eje} \quad \text{Ec. 5}$$

$$\text{Apriete máximo} = \text{Valor cota máxima eje} - \text{Valor cota mínima del agujero} \quad \text{Ec. 6}$$

En la siguiente figura se presenta de forma visual la diferencia entre un ajuste móvil, indeterminado y fijo.

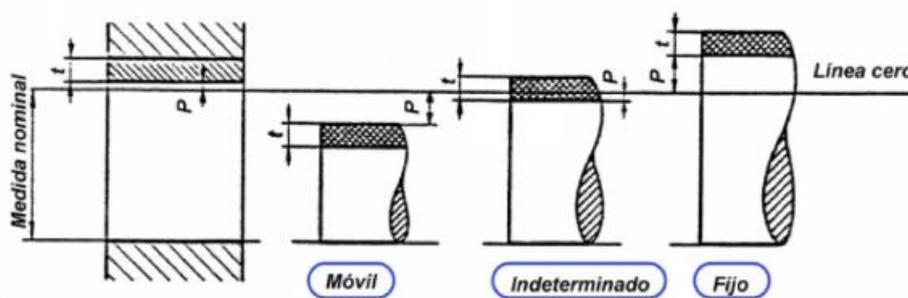


Figura 2.15. Ajustes: definiciones y generalidades [45]

Los tipos de ajuste se resumen en la Tabla 6:

Tabla 2.6. Tabla tipo de ajustes: Juego y apriete

Tipo de ajuste	Relación entre diámetros	Desviaciones máximas y mínimas
Juego	\varnothing mín agujero (a) > \varnothing máx eje (e)	J máx: \varnothing máx agujero (a) - \varnothing mín eje (e) J mín: \varnothing mín agujero (a) - \varnothing máx eje (e)
Apriete	\varnothing mín eje (e) < \varnothing máx agujero(a)	A máx: \varnothing máx eje (e) - \varnothing mín agujero (a) A mín: \varnothing mín eje (e) - \varnothing máx agujero (a)
Indeterminado		Otra cualquiera

2.2.8.4. Calidades

En el diseño de piezas mecánicas, la tolerancia es la variación permisible en una dimensión específica de la pieza. Las calidades en las tolerancias son un conjunto de estándares que se utilizan para especificar el grado de precisión o exactitud que se requiere en la fabricación de la pieza. Las calidades en las tolerancias se establecen mediante normas y estándares internacionales, como la norma ISO 286, que proporciona una serie de tablas y

gráficos que definen las tolerancias para diferentes tamaños de piezas. De esta forma, se pueden distinguir los siguientes grupos principales de calidades [46]:

- Las calidades de 1 a 3 para ejes, y de 1 a 4 para agujeros, se usan para la fabricación de calibres y piezas de alta precisión.
- Las calidades de 4 a 11 para ejes, y de 5 a 11 para agujeros, están previstas para piezas que van a ser sometidas a ajustes.
- Por último, las calidades superiores a 11 se usan para piezas o elementos aislados que no requieren un acabado tan fino.

En la siguiente figura se muestran los valores fundamentales en micras (μm) para cada una de las dieciocho calidades.

Tabla 2.7. Valores numéricos de amplitudes de las zonas de tolerancias [40]

Grupos de diámetros (mm)	CALIDADES																	
	IT 01	IT 0	IT 1	IT 2	IT 3	IT 4	IT 5	IT 6	IT 7	IT 8	IT 9	IT 10	IT 11	IT 12	IT 13	IT 14	IT 15	IT 16
$d \leq 3$	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600
$3 < d \leq 6$	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750
$6 < d \leq 10$	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900
$10 < d \leq 18$	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100
$18 < d \leq 30$	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300
$30 < d \leq 50$	0,6	1	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600
$50 < d \leq 80$	0,8	1,2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900
$80 < d \leq 120$	1	1,5	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200
$120 < d \leq 180$	1,2	2	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500
$180 < d \leq 250$	2	3	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900
$250 < d \leq 12$	2,5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200
$315 < d \leq 400$	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600
$400 < d \leq 500$	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000
	Ultra precisión		Calibre y piezas de gran precisión			Piezas o elementos destinados a ajustar						Piezas o elementos que no han de ajustar						

Las distintas posiciones de tolerancia nos permiten poder saber los ajustes (juegos y aprietos), para cada medida nominal, mediante toda una gama de diferencias. Estas diferencias definen la posición de la tolerancia con respecto a la línea cero, mediante una de las desviaciones, la superior (t_{sup} ó T_{sup}) o la inferior (t_{inf} ó T_{inf}) [46].

Tabla 2.9. Tablas de posición de tolerancias para ejes sección m-zc [46]

Posición	m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z	za	zb	zc
Calidad	Todas las calidades													
Medida nominal	Diferencia inferior tinf													
$m \leq 3$	2	4	6	10	14	-	18	-	20	-	26	32	40	60
$3 < m \leq 6$	4	8	12	15	19	-	23	-	28	-	35	42	50	80
$6 < m \leq 10$	6	10	19	19	23	-	28	-	34	-	42	52	67	97
$10 < m \leq 14$	7	12	18	23	28	-	33	-	40	-	50	64	90	130
$14 < m \leq 18$								39	45	-	60	77	108	150
$18 < m \leq 24$	8	15	22	28	35	-	41	47	54	63	73	98	136	188
$24 < m \leq 30$						41	48	55	64	75	88	118	160	218
$30 < m \leq 40$	9	17	26	34	43	48	60	68	80	94	112	148	200	274
$40 < m \leq 50$						54	70	81	97	114	136	180	242	325
$50 < m \leq 65$	11	20	32	41	53	66	87	102	122	144	172	226	300	405
$65 < m \leq 80$				43	59	75	102	120	146	174	210	274	360	480
$80 < m \leq 100$	13	23	37	51	71	91	124	146	178	214	258	335	445	585
$100 < m \leq 120$				54	79	104	144	172	210	254	310	400	525	690
$120 < m \leq 140$				63	92	122	170	202	248	300	365	470	620	800
$140 < m \leq 160$	15	27	43	65	100	134	190	228	280	340	415	535	700	900
$160 < m \leq 180$				68	108	146	210	252	310	380	465	600	780	1000
$180 < m \leq 200$				77	122	166	236	284	350	425	520	670	880	1150
$200 < m \leq 225$	17	31	50	80	130	180	258	310	385	470	575	740	960	1250
$225 < m \leq 250$				84	140	196	284	340	425	520	640	820	1050	1350
$250 < m \leq 280$	20	34	56	94	158	218	315	385	475	580	710	920	1200	1550
$280 < m \leq 315$				98	170	240	350	425	525	650	790	1000	1300	1700
$315 < m \leq 355$	21	37	62	108	190	268	390	475	590	730	900	1150	1500	1900
$355 < m \leq 400$				114	208	294	435	530	660	820	1000	1300	1650	2100
$400 < m \leq 450$	23	40	68	126	232	330	490	595	740	920	1100	1450	1850	2400
$450 < m \leq 500$				132	252	360	540	660	820	1000	1250	1600	2100	2600

- Para agujeros

Para saber la posición de tolerancia con respecto a la línea cero para agujeros, se deben utilizar las siguientes formulas según sea la posición seleccionada. Se utiliza los valores adjuntos en las tablas: 10, 11 y 12 [46].

- Posiciones de A - H → diferencia inferior T inf en tabla

$$T \text{ sup} = T \text{ inf} + T \quad \text{Ec. 9}$$

- Posiciones J - ZC → diferencia superior T sup en tabla → $T \text{ inf} = T \text{ sup} - T$.

$$T \text{ inf} = T \text{ sup} - T \quad \text{Ec. 10}$$

- A, B, C, CD, D, E, EF, F, FG, G → "T inf" es positiva y se halla por encima de la línea de cero.
- H → "T inf" = 0 y la superior "T sup" igual a la tolerancia.
- J - JS → la tolerancia está centrada respecto a la línea de cero.
- K, M, N → las tolerancias están encima o debajo de la línea de cero, según sus calidades.
- P, R, S, T, U, V, X, Z, ZA, ZB, ZC → "T sup" es siempre negativa.

Tabla 2.10. Tablas de posición de tolerancias para agujeros sección A-H [46]

Posición	A	B	C	CD	D	E	EF	F	FG	G	H
Calidad	Todas las calidades										
Medida Nominal	Diferencia inferior Tinf										
$m \leq 3$	270	140	60	34	20	14	10	6	4	2	0
$3 < m \leq 6$	270	140	70	46	30	20	14	10	6	4	0
$6 < m \leq 10$	280	150	80	56	40	25	18	13	8	5	0
$14 < m \leq 18$	290	150	95	-	50	32	-	16	-	6	0
$24 < m \leq 30$	300	160	110	-	65	40	-	20	-	7	0
$30 < m \leq 40$	310	170	120	-	80	50	-	25	-	9	0
$40 < m \leq 50$	320	180	130								
$50 < m \leq 65$	340	190	140	-	100	60	-	30	-	10	0
$65 < m \leq 80$	360	200	150								
$80 < m \leq 100$	380	220	170	-	120	72	-	36	-	12	0
$100 < m \leq 120$	410	240	180								
$120 < m \leq 140$	460	260	200								
$140 < m \leq 160$	520	280	210	-	145	85	-	43	-	14	0
$160 < m \leq 180$	580	310	230								
$180 < m \leq 200$	660	340	240								
$200 < m \leq 225$	740	380	260	-	170	100	-	50	-	15	0
$225 < m \leq 250$	820	420	280								
$250 < m \leq 280$	920	480	300	-	190	110	-	56	-	17	0
$280 < m \leq 315$	1050	540	330								
$315 < m \leq 335$	1200	600	360	-	210	125	-	62	-	18	0
$355 < m \leq 400$	1350	680	400								
$400 < m \leq 450$	1500	760	440	-	230	135	-	68	-	20	0
$450 < m \leq 500$	1650	840	480								

Tabla 2.11. Tablas de posición de tolerancias para agujeros sección R-U [46]

Posición	R				S				T				U			
	5	6	7	≥8	5	6	7	≥8	5	6	7	≥8	5	6	7	≥8
Diferencia fundamental	Diferencia superior Tsup															
$m \leq 3$	-10	-10	-10	-10	-14	-14	-14	-14	-	-	-	-	-18	-18	-18	-18
$3 < m \leq 6$	-14	-12	-11	-15	-18	-16	-15	-19	-	-	-	-	-22	-20	-19	-23
$6 < m \leq 10$	-17	-16	-13	-19	-21	-20	-17	-23	-	-	-	-	-26	-25	-22	-28
$10 < m \leq 14$	-20	-20	-16	-23	-25	-25	-21	-28	-	-	-	-	-30	-30	-26	-33
$14 < m \leq 18$																
$18 < m \leq 24$	-25	-24	-20	-28	-32	-31	-27	-35	-	-	-	-	-38	-37	-33	-41
$24 < m \leq 30$									-38	-37	-33	-41	-45	-44	-40	-48
$30 < m \leq 40$	-30	-29	-25	-34	-39	-38	-34	-43	-44	-43	-39	-48	-56	-55	-51	-60
$40 < m \leq 50$									-50	-49	-45	-54	-66	-65	-61	-70
$50 < m \leq 65$	-36	-35	-30	-41	-48	-47	-42	-53	-61	-60	-55	-66	-82	-81	-76	-87
$65 < m \leq 80$	-38	-37	-32	-43	-54	-53	-48	-59	-70	-69	-64	-75	-97	-96	-91	-102
$80 < m \leq 100$	-46	-44	-38	-51	-66	-64	-58	-71	-86	-84	-78	-91	-119	-117	-111	-124
$100 < m \leq 120$	-49	-47	-41	-54	-74	-72	-66	-79	-99	-97	-91	-104	-139	-137	-131	-144
$120 < m \leq 140$	-57	-56	-48	-63	-86	-85	-77	-92	-116	-115	-107	-122	-164	-163	-155	-170
$140 < m \leq 160$	-59	-58	-50	-65	-94	-93	-85	-100	-128	-127	-119	-134	-184	-183	-175	-190
$160 < m \leq 180$	-62	-61	-53	-68	-102	-101	-93	-108	-140	-139	-131	-146	-204	-203	-195	-210
$180 < m \leq 200$	-71	-68	-60	-77	-116	-113	-105	-122	-160	-157	-149	-166	-230	-227	-219	-236
$200 < m \leq 225$	-74	-71	-63	-80	-124	-121	-113	-130	-174	-171	-163	-180	-252	-249	-241	-258
$225 < m \leq 250$	-78	-75	-67	-84	-134	-131	-123	-140	-190	-187	-179	-196	-278	-275	-267	-284
$250 < m \leq 280$	-87	-85	-74	-94	-151	-149	-138	-158	-211	-209	-198	-218	-308	-306	-295	-315
$280 < m \leq 315$	-91	-89	-78	-98	-163	-161	-150	-170	-233	-231	-220	-240	-343	-341	-330	-350
$315 < m \leq 355$	-101	-97	-87	-108	-183	-179	-169	-190	-261	-257	-247	-268	-383	-379	-369	-390
$355 < m \leq 400$	-107	-103	-93	-114	-201	-197	-187	-208	-287	-283	-273	-294	-428	-424	-414	-435
$400 < m \leq 450$	-119	-113	-103	-126	-225	-219	-208	-232	-323	-317	-307	-330	-483	-477	-467	-490
$450 < m \leq 500$	-125	-119	-109	-132	-245	-239	-229	-252	-353	-347	-337	-360	-533	-527	-517	-540

Tabla 2.12. Tablas de posición de tolerancias para agujeros sección V-ZC [46]

Posición	V				X				Y			Z			ZA		ZB	ZC
Calidad	5	6	7	≥8	5	6	7	≥8	6	7	≥8	6	7	≥8	7	≥8	≥8	≥8
Diferencia fundamental	Diferencia superior Tsup																	
m ≤ 3	-	-	-	-	-20	-20	-20	-20	-	-	-	-26	-26	-26	-32	-32	-40	-60
3 < m ≤ 6	-	-	-	-	-27	-25	-24	-28	-	-	-	-32	-31	-35	-38	-42	-50	-80
6 < m ≤ 10	-	-	-	-	-32	-31	-28	-34	-	-	-	-39	-36	-42	-46	-52	-67	-97
10 < m ≤ 14	-	-	-	-	-37	-37	-33	-40	-	-	-	-47	-43	-50	-57	-64	-90	-130
14 < m ≤ 18	-36	-36	-32	-39	-42	-42	-38	-45	-	-	-	-57	-53	-60	-70	-77	-108	-150
18 < m ≤ 24	-44	-43	-39	-47	-51	-50	-46	-54	-59	-55	-63	-69	-65	-73	-90	-98	-136	-188
24 < m ≤ 30	-52	-51	-47	-55	-61	-60	-56	-64	-71	-67	-75	-84	-80	-88	-110	-118	-160	-218
30 < m ≤ 40	-64	-63	-59	-68	-76	-75	-71	-80	-89	-85	-94	-107	-103	-112	-139	-148	-200	-274
40 < m ≤ 50	-77	-76	-72	-81	-93	-92	-88	-97	-109	-105	-114	-131	-127	-136	-171	-180	-242	-325
50 < m ≤ 65	-97	-96	-91	-102	-117	-116	-111	-122	-138	-133	-144	-166	-161	-172	-215	-226	-300	-405
65 < m ≤ 80	-115	-114	-109	-120	-141	-140	-135	-146	-168	-163	-174	-204	-199	-210	-263	-274	-360	-480
80 < m ≤ 100	-141	-139	-133	-146	-173	-171	-165	-178	-207	-201	-214	-251	-245	-258	-322	-335	-445	-585
100 < m ≤ 120	-167	-165	-159	-172	-205	-203	-197	-210	-247	-241	-254	-303	-297	-310	-387	-400	-525	-690
120 < m ≤ 140	-196	-195	-187	-202	-242	-241	-233	-248	-293	-285	-300	-358	-350	-365	-455	-470	-620	-800
140 < m ≤ 160	-222	-221	-213	-228	-274	-273	-265	-280	-333	-325	-340	-408	-400	-415	-520	-535	-700	-900
160 < m ≤ 180	-246	-245	-237	-252	-304	-303	-295	-310	-373	-365	-380	-458	-450	-465	-585	-600	-780	-1000
180 < m ≤ 200	-278	-275	-267	-284	-344	-341	-333	-350	-416	-408	-425	-511	-503	-520	-653	-670	-880	-1150
200 < m ≤ 225	-304	-301	-293	-310	-379	-376	-368	-385	-461	-453	-470	-566	-558	-575	-723	-740	-960	-1250
225 < m ≤ 250	-334	-331	-323	-340	-419	-416	-408	-425	-511	-503	-520	-631	-623	-640	-803	-820	-1050	-1350
250 < m ≤ 280	-378	-376	-365	-385	-468	-466	-455	-475	-571	-560	-580	-701	-690	-710	-900	-920	-1200	-1550
280 < m ≤ 315	-418	-416	-405	-425	-518	-516	-505	-525	-641	-630	-650	-781	-770	-790	-980	-1000	-1300	-1700
315 < m ≤ 355	-468	-464	-454	-475	-583	-579	-569	-590	-719	-709	-730	-889	-879	-900	-1129	-1150	-1500	-1900
355 < m ≤ 400	-523	-519	-509	-530	-653	-649	-639	-660	-809	-799	-820	-989	-979	-1000	-1279	-1300	-1650	-2100
400 < m ≤ 450	-588	-582	-572	-595	-733	-727	-717	-740	-907	-897	-920	-1087	-1077	-1100	-1427	-1450	-1850	-2400
450 < m ≤ 500	-653	-647	-637	-660	-813	-807	-797	-820	-987	-977	-1000	-1237	-1227	-1250	-1577	-1600	-2100	-2600

2.2.9. Métodos de comprobación de alineación y nivelación

Todo sistema mecánico, en mayor o menor medida, experimenta vibraciones mecánicas durante su funcionamiento. Es un fenómeno que es inevitable independientemente del número de horas de trabajo que lleve el sistema, y es por eso por lo que el estudio de estas es uno de los pilares principales del mantenimiento predictivo [43].

La monitorización de las vibraciones es de gran importancia para todo mantenimiento predictivo. A partir de las señales captadas por los dispositivos de medida se pueden identificar diferentes defectos de manera prematura, antes de que estos provoquen una parada en el funcionamiento del sistema [47].

Existen cinco tipos de alineación que son usados al momento de alinear una maquina rotativa como es una turbina.

2.2.9.1. Método del reloj

El método del reloj, que también se conoce como 9-12-3, la técnica implica el uso de un indicador de cuadrante montado en cada eje y la toma de mediciones en tres puntos diferentes que corresponden a las posiciones 9-12-3 de un reloj, o a los ángulos 0-90-180 de un círculo, lo que se basa en la geometría del círculo. La hipótesis matemática subyacente es que, si se mide el semicírculo, se puede calcular cómo será el círculo completo y, por lo tanto, se puede determinar el centro del círculo (centro de rotación) de ambos ejes. Al comparar estos centros, se puede determinar si las máquinas están correctamente alineadas entre sí [49].



Figura 2.16. *Método del reloj para alineación de ejes y generadores [49]*

La rotación de los dispositivos de medición en torno al eje es semejante a la de un reloj, es decir, a las posiciones 9, 12, 3 y 6. Siempre que sea viable, se debe rotar libremente los ejes y no exista otro impedimento físico que impida efectuar mediciones en las posiciones 9-12-3. No obstante, se debe colocar los dispositivos de medición en las posiciones 9-12-3 con el mayor grado de precisión posible, y verificar manualmente su ubicación, lo que puede influir en la exactitud de los resultados [49].

2.2.9.2. Método EasyTurn

El método es una evolución exclusiva del enfoque 9-12-3 que ofrece la libertad de seleccionar el ángulo de inicio para la medición. Con cálculos matemáticos precisos, el rango de medición se limita a una rotación de 40 grados completa, lo que lo hace ideal para su uso en espacios limitados donde la rotación de la máquina es difícil [49].

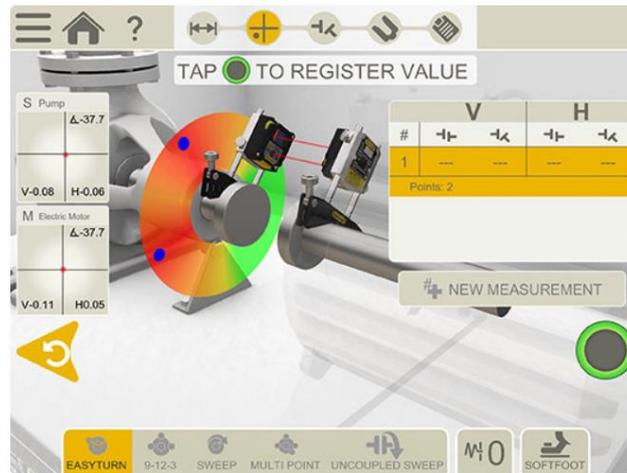


Figura 2.17. Simulación del uso del método Easy Turn por Easy Laser [49].

2.2.9.3. Método Multipunto

El método multipunto es una evolución posterior del método EasyTurn. Al igual que el método anterior, el método multipunto se utiliza para registrar los valores de medición en cualquier posición del reloj (ángulo) y completar los valores con una rotación tan baja como 40 grados. No obstante, a diferencia del método EasyTurn que utiliza solo tres puntos, el método multipunto obtiene los valores de medición de más de tres puntos. Existe una ventaja al realizar mediciones en máquinas grandes donde girar los ejes es complicado. Este método implica una rotación más corta que aumenta la probabilidad de obtener valores de medición precisos y permite evaluar la calidad de las series de mediciones [49].



Figura 2.18. Simulación del uso del método multipunto por Easy Laser [49].

2.2.9.4. Barrido continuo

El método de barrido continuo es similar al método multipunto, pero con la ventaja de contar con un registro automático y continuo de los valores de medición. Esto permite que los

dispositivos de medición se muevan mientras se registran los valores de medición, lo que resulta especialmente útil en situaciones donde es difícil detener las máquinas para tomar puntos de medición en parado como, por ejemplo, en la alineación de turbinas grandes. Para utilizar este método, se inicia el registro de valores de medición en cualquier ángulo o posición del reloj, y se continúa girando los ejes en una dirección sin detenerlos, hasta obtener suficientes valores para realizar un cálculo preciso y de buena calidad [49].



Figura 2.19. Simulación del uso del método barrido continuo por Easy Laser [49]

2.2.9.5. Barrido desacoplado

El método permite la alineación de máquinas en situaciones donde se requiere un alineamiento desacoplado. El procedimiento consiste en girar un eje o unidad para desplazar un láser sobre un detector fijo. Los valores de medición se registran automáticamente cuando el láser pasa sobre el detector, lo que permite el movimiento de la unidad fija a otra posición. El Barrido Desacoplado es útil para realizar mediciones en cualquier posición del giro y puede repetirse infinitamente. Este método es especialmente conveniente cuando no se puede girar manualmente más de un eje o ninguno [49].



Figura 2.20. Simulación del uso del método barrido desacoplado por Easy Laser [49].

2.2.9.6. Causas que dan problemas en el funcionamiento de la turbina

La mayor parte de los problemas que se generan en el funcionamiento de una turbina Francis se da en diferentes casos que son:

- **Holguras mecánicas**

Existen diversas variantes de holguras mecánicas, entre las cuales se pueden mencionar la falta de tensión entre componentes mecánicos (tales como pernos o anclajes), así como el aumento de las tolerancias debido al desgaste (en cojinetes, rodamientos o engranajes). Si existe una fuente externa de excitación, como el desequilibrio o la desalineación, estas holguras pueden evidenciarse a través de mediciones de vibración, lo que podría generar amplitudes de vibración elevadas aun con una excitación de baja intensidad debido a la presencia de holguras [49].

A medida que el desgaste aumenta se generan cambios en el espectro de frecuencias, lo que permite hacer una clasificación de la severidad de la holgura en cuatro grupos [50]:

- La holgura incipiente, se refiere a la aparición de los primeros cuatro o cinco armónicos de la velocidad de giro, junto con armónicos superiores de menor amplitud.
- La holgura potencialmente seria, ocurre cuando aumenta la amplitud del primer armónico de la velocidad de giro y aparecen medios armónicos de muy baja amplitud.
- La holgura seria, se produce cuando hay un aumento en la amplitud de los armónicos y medios armónicos de la velocidad de giro.
- La holgura severa, se caracteriza por la presencia de medios y sub armónicos de la frecuencia de giro del rotor, lo que resulta en una banda ancha de energía en el espectro.

- **Holguras estructuras**

Las holguras en los componentes mecánicos fijos de una máquina, como los soportes de sujeción, pueden ser más evidentes en las direcciones radiales que en las axiales, y se pueden detectar mediante la presencia de múltiples armónicos de la velocidad de rotación del eje en el espectro de frecuencias. Se ha desarrollado un método simple para detectar estas holguras entre dos elementos estructurales, como una pata del motor y su soporte de fijación, que pueden ocurrir debido a la rotura o aflojamiento de los pernos. Este método implica la toma de lecturas de vibración y fase en todas las direcciones posibles de medición (axial, horizontal y vertical) [50].

- **Desalineación**

Constituye aproximadamente el 50% de los problemas de vibraciones que se presentan en la industria. Se genera cuando dos ejes conectados mediante acoplamientos no se encuentran perfectamente colineales uno con respecto al otro [41].

Dentro de la desalineación, se pueden distinguir tres tipos de desalineamientos [41].

- Desalineación paralela: Este tipo se da cuando los ejes de rotación de los ejes son paralelos. La desalineación viene dada al no coincidir dichos ejes.
- Desalineación angular: En este caso los ejes de rotación no coinciden ni mantienen una relación de paralelismo entre ellos. La magnitud de este tipo de desalineación se cuantifica en base al ángulo que forman los ejes entre sí.
- Desalineación combinada: Es la combinación del desalineamiento paralelo y angular.

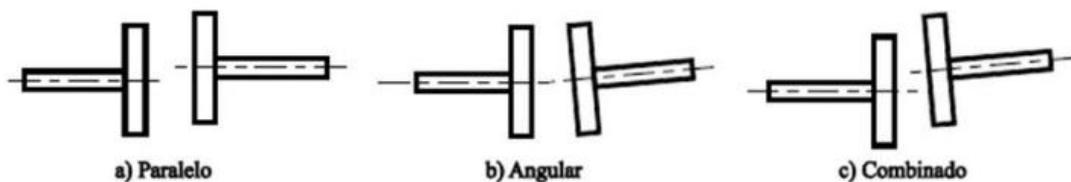


Figura 2.21. *Formas de desalineamientos de ejes [41].*

Pueden presentarse desalineaciones entre el eje y el rodamiento, incluso si hay una correcta alineación durante el acoplamiento. Estas desalineaciones pueden originarse por una deformación en la máquina o un montaje inapropiado. Si alguno de los soportes de la máquina no está en el mismo plano que los demás o si la base de la máquina no es plana, se generará una deformación al ajustar los pernos de anclaje, lo que resultará en una desalineación. Si la estructura metálica no es lo suficientemente resistente, se deformará bajo condiciones de carga y provocará una desalineación. Por lo general, la mayor deformación se produce en el rodamiento más cercano al rodete, lo que ocasiona una desalineación axial [50].

- **Eje doblado**

Se considera que un rotor está deformado cuando pierde su simetría con respecto a su eje de giro. Esta deformación puede ser causada por dilataciones térmicas o sobrecargas radiales y axiales. La deformación del eje se manifiesta en el espectro a la frecuencia de giro y

se diferencia del desequilibrio por la presencia de una vibración axial significativa. Para equilibrar un rotor deformado, a menudo es necesario agregar un gran peso de corrección [50].

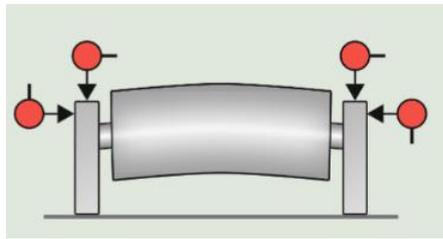


Figura 2.22. *Eje deformado* [50].

La presencia de vibración axial no se limita únicamente a situaciones de eje deformado, sino que también puede ser causada por desequilibrios en ejes en voladizo o por desalineaciones en acoplamientos o rodamientos. Si se desea un diagnóstico más preciso en estos casos, es necesario medir la fase en ambas direcciones axiales en los cojinetes de soporte. En caso de una deformación en el eje, se esperaría un desfase de 180° , mientras que, en la mayoría de los casos de ejes deformados, las lecturas de fase en las direcciones horizontal y vertical en ambos cojinetes serían coincidentes [50].

- **Remolino de aceite**

Se trata de un fenómeno frecuente en los cojinetes de fricción de las máquinas con lubricación hidrodinámica a presión, que operan a velocidades elevadas y por encima de la velocidad crítica del rotor. La formación del remolino de aceite puede provocar una vibración sub sincrona cuya frecuencia oscila entre 0,43 y 0,48 veces la velocidad de rotación por minuto (RPM) en el espectro, lo que puede resultar en graves daños si la velocidad de giro es el doble de la velocidad crítica y se excita la frecuencia natural del rotor (conocido como latigazo de aceite) [50].

El origen del fenómeno se suele atribuir a un diseño inadecuado del cojinete o a su desgaste excesivo. La presencia del remolino de aceite en una máquina está relacionada con la excentricidad del eje con los cojinetes. Si el cojinete está desgastado, el eje tiende a girar de forma cada vez más excéntrica, lo que aumenta el desgaste del cojinete y, por tanto, la probabilidad de que se produzca el fenómeno del remolino de aceite [50].

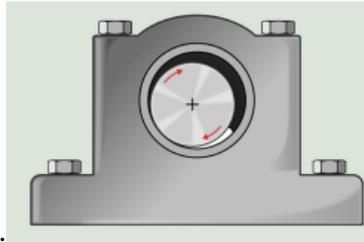


Figura 2.23. Remolino de aceite [50].

- **Pata coja**

Asegurar la fiabilidad de la operación de las máquinas acopladas directamente requiere una alineación adecuada. Sin embargo, a menudo se produce un problema conocido como pata coja, que puede impedir la correcta alineación y el buen funcionamiento de la máquina. Es causada cuando no todas las patas de la carcasa de la máquina se apoyan adecuadamente en la base de soporte, lo que provoca una distorsión en la carcasa al apretar los pernos de fijación [51].

- **Corrección de pata coja**

En el caso de que una pata presente algún problema, esto podría deberse a que esté torcida o inclinada. Si se trata de una pata coja, su solución es relativamente sencilla, pero si se trata de una pata torcida o inclinada, el proceso de corrección es más complejo. Para remediar una pata coja, se requiere ajustar los pernos de sujeción en las patas diagonales que estén en buen estado, aflojar los pernos de las dos patas diagonales afectadas, retirar las láminas que se encuentren debajo de estas dos patas e insertar galgas calibradas entre las patas afectadas y la base en la que se apoyan. De esta manera, se podrá determinar la cantidad exacta de láminas necesarias en cada una de las patas [51].

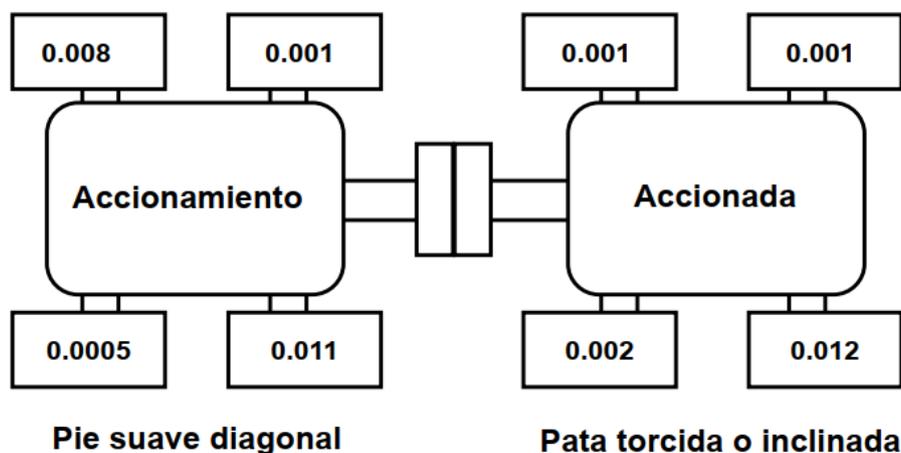


Figura 2.24. Condiciones comunes de pata coja o pie suave [51]

CAPÍTULO III

MARCO METODOLOGICO

3.1. Modelo de investigación

En el presente trabajo de grado se desarrolla una investigación aplicada, ya que la misma está orientada a proponer metodologías y resolución de problemas. En este caso específico se trata de generar una solución al mantenimiento realizado en una turbina tipo Francis que data del año 1949.

3.2. Diseño de la investigación

3.2.1. Fase 1: Evaluación de los parámetros

En esta fase se exponen los hallazgos de investigaciones previas en torno a los conceptos y tipos de mantenimiento aplicados en turbinas de tipo Francis. Asimismo, se procede a efectuar un análisis y selección de las piezas más relevantes que suelen experimentar problemas en el proceso de puesta en marcha de la mencionada turbina.

Actividad 1: “Búsqueda de antecedentes”; en esta actividad se lleva a cabo la búsqueda de información en los medios más accesibles como: artículos, catálogos comerciales, la web, con el fin de encontrar conceptos y metodologías que se utilizan en el funcionamiento y mantenimiento de una turbina tipo Francis.

Actividad 2: “Medición de elementos que conforman la turbina”; se lleva a cabo la visita a la central hidroeléctrica Hidro Carolina para el análisis y medición de las piezas que conforman la turbina tipo Francis.

Actividad 3: “Evaluación de mantenimiento en turbina tipo Francis”; se presencié el tipo de mantenimiento utilizado en el grupo generador N°2: desarme, armado, mantenimiento y puesta en marcha. Para realizar un levantamiento de información analizada y utilizada para la selección del tipo de mantenimiento.

3.2.2. Fase 2: Diseño de los elementos del grupo generador N°2

Aplicando la metodología de diseño mecánico, se da paso al proceso de diseño de los elementos que conforman la turbina tipo Francis, los cuales arrojan planos necesarios para la evaluación del desgaste y la separación entre cada pieza a ser analizada.

Actividad 1: “Toma de medidas y visualización de piezas”; se visualiza las dimensiones y desgastes que presentan cada pieza a ser analizada. También se realiza el levantamiento de medidas con la ayuda de herramientas de medición.

Actividad 2: “Modelado de los componentes estructurales en un software de diseño asistido por computadora”; con el levantamiento de un bosquejo realizado anteriormente, se diseña en software (SolidWorks), cada una de las piezas con sus dimensiones rectificadas y asignadas que forman parte de la turbina tipo Francis.

Actividad 3: “Ensamblaje de las piezas en software SolidWorks”; se procede a ensamblar ordenadamente cada una de las piezas que conforman la turbina tipo Francis de la central hidroeléctrica Hidro Carolina, para poder observar el diseño final.

Actividad 4: “Planos de las piezas en software SolidWorks”; se procede a desarrollar los planos respectivos de cada pieza utilizada en el mantenimiento y el plano de conjunto que conforman a la turbina tipo Francis.

3.2.3. Fase 3: Proceso de montaje, alineación y nivelación.

En esta fase se realiza el proceso de montaje, el funcionamiento de cada dispositivo y la selección del proceso a utilizarse en el mantenimiento

Actividad 1: “Visita y participación en el mantenimiento realizado”; se visita la hidroeléctrica Hidro Carolina para documentar, fotografiar y participar en los diferentes procesos de mantenimiento, ensamble, alineación y nivelación de los componentes analizados.

Actividad 2: “Análisis de los resultados”; con base a los resultados obtenidos se analizan cada uno de ellos para dar una solución, en caso de ser necesario se propondrá una corrección.

Actividad 3: “Selección y desarrollo del proceso de montaje, nivelación y alineación”; se desarrolla el proceso de montaje a utilizarse en el mantenimiento de la turbina tipo Francis de la central hidroeléctrica Hidro Carolina.

Actividad 4: “Validación de resultados obtenidos en pruebas de funcionamiento”; se desarrolla el análisis de los datos obtenidos en las pruebas de funcionamiento y se valida con las medidas de separación que se dan al entrar en operación la turbina.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y ANÁLISIS

En el siguiente capítulo se mencionan los resultados obtenidos al momento de realizar las mediciones de las piezas que fueron rectificadas, para que permitan realizar el mantenimiento a la turbina. Se utiliza un programa de diseño asistido por computadora, siendo este SolidWorks, en donde, se obtiene el diseño de las diferentes piezas, mismas que son ensambladas para obtener una medida de separación o unión que son utilizadas para el análisis del desgaste producido durante el accionamiento de la turbina. Al entrar en operación se toma en cuenta que esta turbina, al tener piezas antiguas, estas presentan un desgaste en sus medidas por lo que los planos que se han obtenido permiten tener una guía base, que ayuda a saber cuánto ha sido el desgaste que se ha producido durante diferentes tiempos de producción de energía.

Al momento de analizar las medidas de cada pieza, se obtiene los ajustes y tolerancias recomendados donde se utiliza las normativas teóricas y su aplicación en el caso de una turbina tipo Francis horizontal. Se realiza el mantenimiento, alineación, nivelación y montaje del grupo generador N°2 de la central hidroeléctrica Hidro Carolin, juntamente con el equipo técnico contratado, en donde, se obtienen los resultados que se generan al momento de las pruebas de funcionamiento y la puesta en marcha de la turbina.

Una vez tomada toda la información de la forma práctica se pasa al análisis juntamente con la parte teórica. Se realiza el instructivo de montaje, para proceder con el ensamble que aplica los métodos teóricos y prácticos para que una turbina tipo Francis de eje horizontal. Permita un funcionamiento óptimo y reduzca las paradas de emergencias debido al desgaste que se va generando en las uniones de cada elemento.

4.1. Especificaciones propuestas para el proceso

A continuación, se indican las restricciones y criterios que se deben considerar para una correcta selección, con el propósito de elegir un proceso de mantenimiento y montaje óptimo para el funcionamiento de una turbina tipo Francis.

- Tiempo: Reducir los tiempos de mantenimiento correctivo para evitar los tiempos muertos de funcionamiento.
- Funcionamiento optimo: Reducir el desgaste causado durante la operación de la turbina.
- Largos periodos de operación: Aumentar el tiempo de funcionamiento de la turbina, tomando en cuenta que las piezas al ser antiguas estas tienen problemas para largos tiempos de producción de energía.
- Mantenimiento utilizando métodos de fácil alcance: Utilizar métodos y herramientas de fácil acceso para hidroeléctricas que no cuenten con suficiente infraestructura de mantenimiento.
- Mantenimientos preventivos: Utilizar mantenimientos que permitan evitar un paro de la hidroeléctrica. Dar chequeos preventivos que ayuden a detectar la falla antes de que el daño sea mayor.
- Importancia en separaciones de piezas: Utilizar los resultados obtenidos al momento de entrar en operación la turbina, dando importancia a las distancias que se generan por el desgaste producido por el funcionamiento por largos periodos de tiempo.

4.2. Especificaciones para el plan de mantenimiento

En la central hidroeléctrica Hidro Carolina, el grupo generador N°2 correspondiente a una turbina tipo Francis, presenta daños en sus piezas por la antigüedad de estas y debido a la mala alineación y nivelación. Debido a ello se llevó a cabo un mantenimiento correctivo realizado por el personal de mantenimiento, mismo que será analizado y propuesto para futuros trabajos a realizarse.

Se procedió con la medición de las piezas a ser analizadas dando uso al software SolidWorks, mismo que permite realizar un diseño en tercera dimensión que permite ver el ensamblaje y las distancias de separación entre cada elemento. Se realiza los planos respectivos de cada pieza para poder tener una base y guía de qué medidas se ocupó para poder realizar el rectificado o reparación de cada pieza. Cuando la maquina empiece a entrar en funcionamiento las piezas presentaran un desgaste debido a la antigüedad de la máquina, estas piezas son comparadas con las dimensiones que se tomó al momento de ser rectificadas.

El uso de una guía de medición ayuda a saber el desgaste que hubo en cada pieza, para posterior pasar a su respectiva reparación o rectificación. A continuación, se indica cada una de las piezas diseñadas y ensambladas.

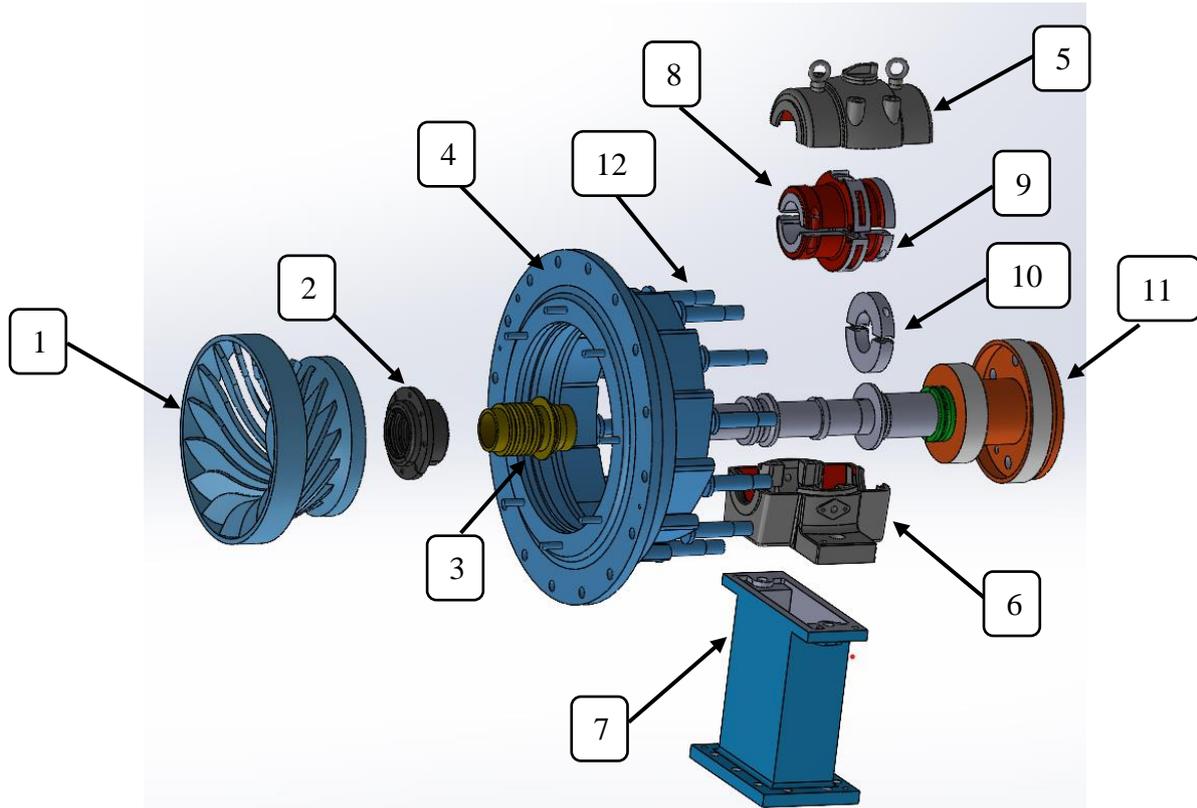


Figura 4.1. Vista explosionada de piezas diseñadas en SolidWorks

1. Rodete.
2. Anillo laberintico.
3. Laberinto.
4. Carcasa de rodete.
5. Chumacera superior.
6. Chumacera inferior.
7. Base chumacera.
8. Cojinete superior.
9. Cojinete inferior.
10. Cojinete axial.
11. Eje.
12. Paletas o alabe.

Al momento de realizar el montaje se tiene el posicionamiento de las piezas en cada zona, como se representa en la siguiente figura 4.2 mostrando el ensamble de los elementos que conforman la turbina.

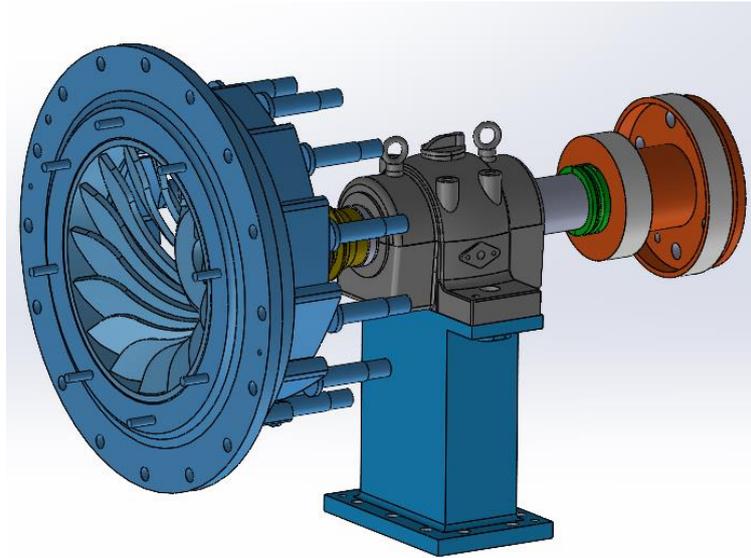


Figura 4.2. Ensamblaje de elementos que conforman la turbina tipo Francis

4.3. Ajustes y tolerancias

Los ajustes y tolerancias son cruciales en el mantenimiento de máquinas como son las turbinas porque aseguran que los componentes móviles trabajen juntos de manera óptima y sin problemas. Las tolerancias se refieren a la cantidad de variación permitida en la medida de un componente. Si la tolerancia es demasiado grande, puede provocar un juego excesivo entre las piezas móviles, lo que puede causar vibraciones, ruido y desgaste.

El proceso de medición es fundamental para la correcta aplicación de ajustes y tolerancias. Para ello se emplean herramientas y equipos de medición de alta precisión, que permiten obtener mediciones confiables de las dimensiones de las piezas. Posteriormente, se utilizan fórmulas y tablas específicas para cada tipo de ajuste y tolerancia, con el fin de determinar las tolerancias máximas y mínimas de cada pieza.

Con estas medidas se toma en cuenta las uniones entre agujeros y ejes, mismos que, entran en unión para permitir el funcionamiento de la turbina. Estos datos nos permiten saber los valores de tolerancias máximas y mínimas.

A continuación, se realiza el cálculo de las medidas de tolerancias:

Al medir la pieza con la ayuda de un calibrador se obtiene la medida real que es 79,50 mm, el eje será unido al agujero del rodete el cual mide 77.94 mm.

Este eje está destinado para estar en ajuste por lo que se utiliza la calidad IT6 de (Tabla 2.7), dándonos un valor de $19 \mu\text{m}$. Utilizando la calidad IT6 tomando en cuenta los parámetros para ejes [44], se utiliza la letra j, teniendo una calidad j6.

Utilizando (Tabla 2.8) para el diámetro 79.5 mm con calidad j6 obtenemos el valor:

$$t \text{ sup} = 0$$

Para el cálculo de t inf se utiliza la ecuación 7:

$$t \text{ inf} = t \text{ sup} - \text{tolerancia}$$

Reemplazando los valores se obtiene:

$$t \text{ inf} = 0 - 19 \mu\text{m} = -19 \mu\text{m}$$

Obteniendo un resultado de:

$$\text{Eje: } 79.50_{j6} = 79.50 \begin{matrix} 0 \\ -0.019 \end{matrix}$$

Una vez obtenido el valor de tolerancias referente al eje, se realiza el cálculo del agujero, en este caso se utiliza el agujero del rodete. El mismo que tiene un diámetro de 77.94 mm . Este agujero está destinado para estar en ajuste con el eje, por lo que se utiliza una calidad IT7 de la (Tabla 2.7), teniendo un valor igual a $30 \mu\text{m}$.

Una vez teniendo la calidad IT7 se toma en cuenta los parámetros para agujeros [44], en donde, se utiliza la letra H, teniendo una calidad H7.

Utilizando la (Tabla 2.10) para el diámetro 77.94 mm con calidad H7 obtenemos el valor.

$$t \text{ inf} = 0$$

Para el cálculo de t sup se utiliza la ecuación 8:

$$t \text{ sup} = t \text{ inf} + \text{tolerancia}$$

Reemplazando los valores se obtiene:

$$t \text{ sup} = 0 + 30 \mu\text{m} = 30 \mu\text{m}$$

Obteniendo un resultado de:

$$\text{Rodete: } 77.94_{H7} = 77.94 \begin{matrix} +0.030 \\ 0 \end{matrix}$$

Tomando en cuenta la (Tabla N°6) estas dos piezas se encuentran en un ajuste holgado o móvil teniendo un juego máximo y mínimo para lo cual se utilizan las ecuaciones 1 y 2:

Apriete máximo

$$= \text{Valor cota máxima del eje} - \text{Valor cota mínima del agujero}$$

Apriete mínimo

$$= \text{Valor cota mínima del eje} - \text{Valor cota máxima del agujero}$$

Reemplazando valores:

$$\text{Apriete máximo} = 79.5 - 77.94 = 1,29 \text{ mm}$$

$$\text{Apriete mínimo} = 79.481 - 77.97 = 1.511 \text{ mm}$$

A continuación, en la Tabla 7, se presenta el mismo proceso generado para todas las piezas mecánicas. El tipo de ajuste está siendo relacionado con la unión entre el eje y los diferentes agujeros presentes en el ensamble de la turbina.

Tabla 4.1. Tabla ajustes y tolerancias de piezas con uniones eje-agujero.

Piezas	Diámetro	Tolerancia máxima	Tolerancia mínima	Calidad	Resumen	Tipo de ajuste
Eje-Rodete Interno	79.50	79,50	79.481	j6	79,50 ⁰ -0.019	
Eje-Laberinto	79.50	79.50	79.487	m5	79,50 ⁰ -0.013	
Eje-Cojinete guía	79.50	79.50	79.426	h9	79,50 ⁰ -0.074	
Eje-Cojinete axial	79.50	79.50	79.426	h9	79,50 ⁰ -0.074	
Diámetro interno Rodete	77.94	77.97	77.94	H7	77.94 ^{+0.030} 0	Indeterminado
Laberinto	79,60	79,619	79,60	H6	79,60 ^{+0.019} 0	Apriete
Cojinete Guía	79,70	80.04	79,55	C11	79,70 ^{+0.34} -0.150	Móvil
Cojinete Axial	80,00	80,101	80,00	E8	80,00 ^{+0.101} 0	Móvil

Tabla 4.2. *Tabla ajustes y tolerancias de piezas de unión entre diámetro exterior de rodete y carcasa anillo exterior turbina.*

Piezas	Diámetro	Tolerancia máxima	Tolerancia mínima	Calidad	Resumen	Tipo de ajuste
Carcasa Anillo exterior rodete	467	467.063	467	H7	$467^{+0.063}_0$	Móvil
Diámetro exterior rodete	445.70	445.835	445.662	e8	$445.70^{+0.135}_{-0.038}$	Móvil

4.4. Proceso de montaje

4.4.1. Mediciones de precisión

La turbina del grupo generador N°2 data del año 1949, al realizar una inspección de las diferentes partes, se logra encontrar fisuras y deformaciones debido a los años de uso. Para corregir estos problemas se procedió con el desmontaje, analizando cada elemento mecánico se llega a la conclusión que deben entrar a un proceso de mantenimiento con el fin de rectificar los diámetros internos y externos de los elementos: eje, rodete, chumaceras, laberinto y soportes axiales.

Las piezas mecánicas fueron medidas con diferentes herramientas presentes en el taller como son: pie de rey, metro, compas de interiores y exteriores. Una vez teniendo los diámetros y medidas necesarias para su diseño se utiliza el software “SolidWorks”, con el fin de obtener el diseño, el ensamble y los planos que nos permitan tener una referencia de sus dimensiones.

Para que el proceso de diseño pueda ser posible, se procedió a desmontar las partes que conforman la turbina. La siguiente imagen muestra el proceso de medición realizado a las diferentes partes que entraron a un proceso de rectificación.



Figura 4.3. Mediciones realizadas en taller de las piezas de la turbina grupo N°2 de la central hidroeléctrica Hidrocarolina.

Las piezas mecánicas pasaron por métodos de rectificación, debido a su desgaste adquirido a lo largo de los años. Finalizadas las correcciones, sigue el proceso de montaje, el cual se lleva a cabo en la central hidroeléctrica “Hidrocarolina”.

4.4.2. Montaje grupo turbina generador

Para el proceso de montaje se ha optado por el uso de hojas de procesos que especifican el orden del montaje realizado a la turbina tipo Francis.

Tabla 4.3. Tabla Ficha técnica del grupo turbina generador N°2 de la central hidroeléctrica Hidrocarolina.

Ficha técnica	
características turbina Grupo N°2	
Marca	Bell
Tipo	Francis
Procedencia	Suiza
Año de fabricación	1949
N° de fabricación	1822
Salto	35 mts
Revoluciones	1200 R.p.m
Revoluciones de embalamiento	2500 R.p.m

Tabla 4.4. Tabla Ficha técnica del generador del grupo N°2 de la central hidroeléctrica Hidrocarolina.

Ficha técnica	
Características generador Grupo N°2	
Marca:	Braun-Boveri
Serie:	B 55119
Fases:	3 f
Potencia:	250 KVA
RPM:	1200/2100
Frecuencia:	60 Hz
Voltaje:	440 V
Corriente:	328 A
Factor de potencia:	0,8
Excitación	
Voltaje:	115 V
Corriente:	40 A
Cos θ	0,8

Hoja de procesos para el mantenimiento

En este capítulo se enlisa el proceso de montaje de los elementos que pasaron por el proceso de mantenimiento.

Ficha tecnológica

Equipo: Base de chumacera.

Actividad: Montaje de la base de chumacera.

Código: MTF-001-001-001

Ítem	Descripción del trabajo	Equipos y herramientas	Procedimiento	Observaciones	Subconjunto
1	Limpieza.	Guaípe, lija grano fino, gasolina y esmeril.	Limpiar la base de chumacera y retirar imperfecciones en los agujeros de la base con el uso del esmeril.	Verificar si las áreas que entran en contacto se encuentren libres de imperfecciones o imperfecciones que dificulten la nivelación de este.	 <p><i>Figura 4.4. Trabajos de mantenimiento realizados en la central hidroeléctrica Hidrocarolina.</i></p>
2	Asentamiento, alineación y nivelación.	Lainas y nivel.	Alinear la base de la chumacera respecto a los puntos guías, verificar el nivel que presenta y de ser necesario utilizar lainas de diferentes espesores.	Verificar en todo momento que la base se encuentre nivelada, corregir los desniveles existentes utilizando lainas.	 <p><i>Figura 4.5. Nivelación de base de chumacera del grupo N°2 de la central hidroeléctrica Hidrocarolina.</i></p>

3	Ajuste pernos.	Llave dinamométrica.	Realizar el apriete de todos los pernos que conforman la base.	Se debe verificar que la base se encuentre nivelada de lo contrario se vuelve al ítem 2.	 <p data-bbox="1413 443 1973 475"><i>Figura 4.6. Ajuste de pernos de la base del cojinete.</i></p>
---	----------------	----------------------	--	--	---

Ficha tecnológica

Equipo: Chumacera

Actividad: Montaje de chumacera inferior

Código: MTF-001-001-002

Ítem	Descripción del trabajo	Equipos y herramientas	Procedimiento	Observaciones	Subconjunto
1	Limpieza y asentamiento.	Guaípe, lija grano fino y gasolina.	Limpiar la base de la chumacera inferior y realizar el asentamiento en la base de la chumacera.	Tener cuidado al momento de realizar el posicionamiento, debido a que es una pieza pesada.	 <p data-bbox="1352 1165 2033 1225"><i>Figura 4.7. Trabajos de mantenimiento realizados en la central hidroeléctrica Hidrocarolina.</i></p>

2	Alineación y nivelación.	Lainas y nivel.	Alinear referente a los puntos guías, comprobar su nivel y utilizar las lainas necesarias para que la chumacera se encuentre nivelada.	Se debe realizar el apriete de los pernos para verificar en qué nivel se encuentra.	 <p data-bbox="1408 501 1973 528"><i>Figura 4.8. Chumacera inferior alineada y nivelada.</i></p>
3	Verificación.	Láser de nivel.	Se verifica que se encuentren centrados en relación con la caracola.	Al ser una turbina que ya tiene puntos referenciales, nos basamos en los mismos.	 <p data-bbox="1352 847 2033 906"><i>Figura 4.9. Comprobación de alineación del grupo N°2 utilizando un láser de nivel.</i></p>

Ficha tecnológica

Equipo: Eje

Actividad: Montaje en chumacera inferior

Código: MTF-001-001-003

Ítem	Descripción del trabajo	Equipos y herramientas	Procedimiento	Observaciones	Subconjunto
1	Verificación.	Nivel y metro.	Verificar que la base del eje no presente desniveles.	Al pasar por un proceso de rectificación el eje se encuentra con las medidas adjuntas en planos.	 <p data-bbox="1462 644 1921 671"><i>Figura 4.10. Comprobación de nivel al eje.</i></p>
2	Movilización.	Tecla de una tonelada, estrobo de sogá, manila, comba y martillos.	Izar el eje de la turbina y situarlo en la base de chumacera.	Se mantiene sujeto el eje para poder montar los demás elementos.	 <p data-bbox="1509 970 1881 997"><i>Figura 4.11. Montaje eje-cojinete.</i></p>
3	Nivelación y alineación.	Galgas, regla metálica, calibrador pie de rey y nivel.	Nivelar y alinear con respecto a chumacera.	Comprobar el nivel y las separaciones que se tiene en las uniones.	 <p data-bbox="1413 1337 1973 1364"><i>Figura 4.12. Eje nivelado con respecto a la turbina.</i></p>

Ficha tecnológica

Equipo: Cojinete guía

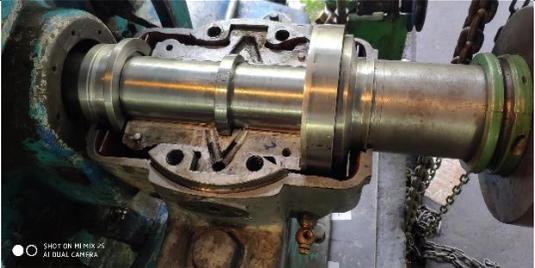
Actividad: Verificación en cojinete guía con chumacera

Código: MTF-001-001-004

Ítem	Descripción del trabajo	Equipos y herramientas	Procedimiento	Observaciones	Subconjunto
1	Verificación.	Galgas y laines.	Verificar que el cojinete guía este en su ubicación	Verificar en los 2 puntos de unión de chumacera que cojinete entre sin dificultad	 <p><i>Figura 4.13. Comprobación de nivel al eje.</i></p>
2	Comprobación alineación.	Galgas y laines.	Comprobar que el cojinete guía se encuentre alineado con respecto a chumacera.	Tomar en cuenta la alineación que tendría el mismo con el eje en su posición.	 <p><i>Figura 4.14. Montaje eje-cojinete.</i></p>

Ficha tecnológica**Equipo:** Cojinete guía**Actividad:** Montaje de cojinete guía**Código:** MTF-001-001-005

Ítem	Descripción del trabajo	Equipos y herramientas	Procedimiento	Observaciones	Subconjunto
1	Limpieza.	Guaípe, lija grano fino y gasolina.	Limpiar la superficie del cojinete guía.	Verificar que no existan imperfecciones en las partes de unión.	 <p><i>Figura 4 15. Cojinete guía.</i></p>
2	Lubricación.	Aceite ISO VG 68.	Lubricar eje y cojinete.	Utilizar lubricante en las partes de unión.	 <p><i>Figura 4.16. Lubricación eje y cojinete.</i></p>

3	Ensamblaje cojinete guía inferior.	Martillo de goma.	Ensamblar cojinete inferior.	Se coloca desde un extremo y con golpes suaves se encaja tanto con la chumacera y el eje.	 <p><i>Figura 4.17. Ensamblaje cojinete guía.</i></p>
4	Nivelación y alineación.	Martillo de goma, galgas y lanas.	Nivelar y alinear cojinete con respecto a chumacera y eje.	Comprobar distancias de separación en uniones.	 <p><i>Figura 4.18. Cojinete guía nivelado y alineado.</i></p>
5	Comprobación.	Galgas, lanas y nivel.	Comprobar la separación obtenida en los puntos de unión.	Debe tener un separación mínima de 0,10 mm y una holgura máxima de 0.5 mm. En este proceso se inició con 0.2 mm.	 <p><i>Figura 4.19. Comprobación holgura entre unión cojinete guía y axial.</i></p>

6	Ensamblaje cojinete guía superior.	Martillo de goma.	Ensamblar cojinete superior con respecto al inferior.	Verificar que las piezas encajen en su sitio.	 <p><i>Figura 4.20. Unión entre cojinete inferior y superior.</i></p>
7	Nivelación y alineación.	Galgas, laines y nivel.	Nivelar y alinear cojinete guía superior con respecto al conjunto.	Realizar la comprobación en las separaciones existentes entre cada pieza de unión.	 <p><i>Figura 4.21. Comprobación de nivel cojinete guía.</i></p>

Ficha tecnológica

Equipo: Chumacera

Actividad: Montaje de chumacera superior

Código: MTF-001-001-006

Ítem	Descripción del trabajo	Equipos y herramientas	Procedimiento	Observaciones	Subconjunto
1	Colocar tornillos.	Martillo de goma.	Colocar los tornillos en su respectivo sitio y realizar el apriete.	Verificar que no existan imperfecciones en las partes de unión.	 <p data-bbox="1357 608 2033 667"><i>Figura 4.22. Tornillos colocados en su posición en chumacera inferior.</i></p>
2	Ensamble.	Martillo de goma.	Ensamblar chumacera superior.	Verificar que las piezas encajen en su sitio.	 <p data-bbox="1386 999 2002 1027"><i>Figura 4. 23. Ensamblaje chumacera con respecto al eje.</i></p>
3	Apriete de roscas.	Llave dinamométrica.	Ajuste de roscas de cada tornillo.	Verificar al momento de apretar cada tuerca que las piezas encajen sin ser forzadas.	 <p data-bbox="1467 1294 1924 1323"><i>Figura 4. 24. Armado final de chumacera.</i></p>

4	Medidas de referencia.	Marcador, regla metálica y calibrador pie de rey.	Referenciar las posiciones que se encuentran en el eje.	Las anotaciones deben ser referenciadas con respecto a las demás piezas.	 <p data-bbox="1442 512 1951 539"><i>Figura 4.25. Referencia entre chumacera y eje.</i></p>
---	------------------------	---	---	--	--

Ficha tecnológica

Equipo: Laberinto

Actividad: Montaje de laberinto

Código: MTF-001-001-007

Ítem	Descripción del trabajo	Equipos y herramientas	Procedimiento	Observaciones	Subconjunto
1	Ensamble laberinto.	Martillo de goma.	Ensamblar el laberinto relacionando las posiciones.	Verificar la separación existente entre cada pieza.	 <p data-bbox="1402 1294 1984 1321"><i>Figura 4.26. Ensamblaje laberinto con respecto al eje</i></p>

2	Ensamblaje anillo laberintico.	Llaves mecánicas.	Ensamblar anillo laberinto.	Verificar la unión que se realiza juntamente con el laberinto.	 <p data-bbox="1384 523 1998 550"><i>Figura 4.27. Posición final anillo laberintico y laberinto.</i></p>
---	--------------------------------	-------------------	-----------------------------	--	---

Ficha tecnológica

Equipo: Anillo exterior caracola

Actividad: Montaje de anillo exterior caracola

Código: MTF-001-001-008

Ítem	Descripción del trabajo	Equipos y herramientas	Procedimiento	Observaciones	Subconjunto
1	Movilización.	Tecla de una tonelada, estrobo de sogas, manila, comba y martillos.	Izar el anillo exterior y situarlo con respecto a la caracola.	Se debe ir posicionando en la posición ya establecida.	 <p data-bbox="1413 1327 1993 1355"><i>Figura 4.28. Movilización anillo exterior de caracola.</i></p>

2	Posicionamiento.	Tuercas y llaves de apriete mecánico.	Posicionar el anillo exterior y realizar el apriete respectivo.	Se utiliza la polea móvil en todo momento para mayor facilidad en el movimiento del anillo.	 <p data-bbox="1395 515 2011 544"><i>Figura 4.29. Posicionamiento anillo exterior de caracola.</i></p>
---	------------------	---------------------------------------	---	---	---

Ficha tecnológica

Equipo: Rodete

Actividad: Montaje de rodete

Código: MTF-001-001-009

Ítem	Descripción del trabajo	Equipos y herramientas	Procedimiento	Observaciones	Subconjunto
1	Aplicación de RECUBRIMIENTO tipo polímero.	Polímero de resistencia al desgaste.	Aplicar el producto a las partes que presenten desgaste	Recubrimiento protector para conservar la forma y dimensiones de los alabes directrices móviles.	 <p data-bbox="1451 1313 1975 1342"><i>Figura 4.30. Masillado borde exterior de rodete.</i></p>

2	Movilización.	Tecla de una tonelada, estrobo de sogas, manila, comba y martillos.	Izar el rodete y situarlo con respecto a la caracola de la turbina.	Se debe ir posicionando con respecto a los demás elementos ya ensamblados.	 <p><i>Figura 4.31. Movilización de rodete.</i></p>
3	Ensamblaje.	Soporte, bomba de presión y pistón.	Poner en la posición deseada el rodete bajo presión.	Se coloca hasta el tope que permite ingresar el rodete.	 <p><i>Figura 4.32. Rodete ingresando a el eje bajo presión.</i></p>
4	Nivelación y alineación.	Galgas y laines.	Nivelar y alinear rodete con respecto al eje y caracola.	El rango de holgura mínimo es de 0.2 mm y su máximo de 0.7 mm. Que se da entre la distancia del anillo exterior y el anillo del rodete.	 <p><i>Figura 4.33. Comprobación nivelación y alineación de rodete.</i></p>

Ficha tecnológica

Equipo: Anillo exterior caracola

Actividad: Montaje de anillo exterior caracola

Código: MTF-001-001-010

Ítem	Descripción del trabajo	Equipos y herramientas	Procedimiento	Observaciones	Subconjunto
1	Movilización.	Tecla de una tonelada, estrobo de sogas, manila, comba y martillos.	Izar el anillo exterior y situarlo con respecto a la caracola.	Se debe ir posicionando en la posición ya establecida.	 <p><i>Figura 4.34. Movilización tapa de desfogue.</i></p>
2	Posicionamiento.	Tuercas y llaves de apriete mecánico.	Posicionar el anillo exterior y realizar el apriete respectivo.	Se utiliza la polea móvil en todo momento para mayor facilidad en el movimiento del anillo.	 <p><i>Figura 4.35. Posicionamiento tapa de desfogue.</i></p>

Ficha tecnológica

Equipo: Generador

Actividad: Montaje de generador

Código: MTF-001-001-011

Ítem	Descripción del trabajo	Equipos y herramientas	Procedimiento	Observaciones	Subconjunto
1	Preparar zona de asentamiento.	Escobilla, marcador y nivel.	Limpiar y comprobar que se encuentre libre de zonas que presenten desnivel.	Se agrega 4 soportes los mismos que permiten mover el generador de una forma mucho más fácil.	 <p><i>Figura 4.36. Zona de asentamiento de generador.</i></p>
2	Movilización.	Tecla de una tonelada, estrobo de sogas, manila, comba y martillos.	Izar el generador y situarlo con respecto a la base.	Se debe ir posicionando en la posición ya establecida.	 <p><i>Figura 4.37. Movilización de generador.</i></p>

3	Alineación.	Tecla de una tonelada, estrobo de sogá, manila, comba y martillos.	Alinear el generador referente a la posición marcada.	Se toma en cuenta las líneas de referencia trazadas en la base.	 <p><i>Figura 4.38. Alineación de generador.</i></p>
4	Nivelación.	Soportes de movilidad, llaves mecánicas, tecla de una tonelada.	Nivelar el generador.	Utilización de laines,	 <p><i>Figura 4.39. Nivelación de generador.</i></p>
5	Comprobación.	Reloj palpador.	Comprobación de nivel y pata coja.	Se utiliza el proceso de capítulo 4.5, debe existir una separación máxima de 0.2 mm para que no exista vibraciones.	 <p><i>Figura 4.40. Método de comprobación con reloj palpador 3-6-9-12</i></p>

6	Unión turbina generador.	Llaves mecánicas.	Unir el generador a la base del eje.	Se une todo el conjunto una vez se compruebe que se encuentre en nivelado y alineado.	 <p data-bbox="1422 454 1512 478">SHOT ON HIKM X25 AI EYEAL CAMERA</p> <p data-bbox="1422 491 1960 518"><i>Figura 4.41. Unión generador y eje de la turbina.</i></p>
---	--------------------------	-------------------	--------------------------------------	---	---

A continuación, se observa las características del aceite utilizado en el ensamble de la turbina.

Tabla 4.5. Características aceite Hidráulico Anti desgaste (AW) ISO VG 68 [52].

	Método ASTM D	Valores Típicos
Apariencia a Temperatura Ambiente	Visual	Brillante
Color ASTM	1500	2.0
Viscosidad Cinemática @ 40 °C, mm ² /s (cSI)	445	68.00
Viscosidad Cinemática @ 100 °C, mm ² /s (cSI)	445	8.493
Índice de viscosidad	2270	94
Densidad @ 15.6 °C, kg/L	1298	0.8739
Punto de inflamación, °C	92	220
Punto de escurrimiento, °C	97	-9

4.5. Proceso de nivelación y alineación

El desalineamiento de ejes es la causa principal de las fallas que ocurren en los equipos rotativos. La alineación inicia desde el posicionamiento de las bases del equipo, es importante considerar adecuadamente los niveles y planitud [37].

La alineación y nivelación de los ejes consiste en que queden en posición coaxial, un eje en común. La línea de centros debe coincidir una con el otro, en la realidad, es rara vez alcanzado, debido a influencias térmicas, tolerancias de fabricación, holguras de ensamble y diferentes cargas de operación. Una alineación se considera aceptable cuando cumple la tolerancia admisible del acoplamiento [37].

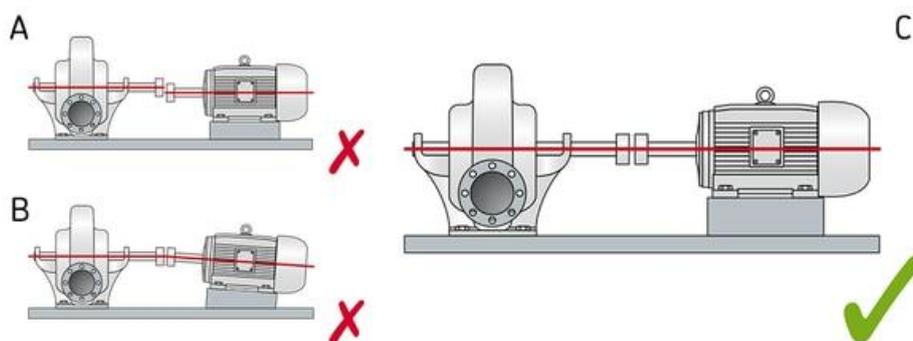


Figura 4.42. Alineación incorrecta y correcta de los ejes [53]

Si la maquina se encuentra alineada de una manera colineal permite que exista: un mínimo estrés, mínimas vibraciones y mínimo desgaste. Para lograr todo ello se debe alinear: poleas, correas, engranajes, ejes, acoples, rodamientos, cojinetes y rodillos. Existen diferentes procesos de nivelación que permitirán el mejor rendimiento del grupo generador [37].

4.5.1. Acople turbina generador

El generador cuenta con 4 zonas importantes. Cada una utiliza láminas (cuñas) en las posiciones 1, 2, 3 y 4. Dependiendo de los cálculos obtenidos se deberá aumentar o disminuir el grosor de las láminas.

A continuación, se representa las posiciones mencionadas mismas que representan los puntos donde va la sujeción con los pernos. Dependiendo de los cálculos realizados se aumentará o disminuirá las láminas utilizadas

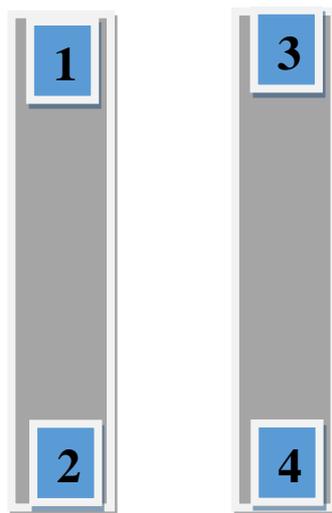


Figura 4.43. Posicionamiento de ejes en base de generador

Primero se realiza un fresado en los agujeros que están en la base y el generador. Al ser esta una pieza bastante antigua, dificulta que se permita una nivelación perfecta. Para este paso se utiliza el método EasyTurn o también llamado alineación borde-cara [49].

4.5.2. Técnica de alineación borde-cara

El método utiliza un reloj palpador, es importante que la superficie en donde se utilice sea plana. En las pruebas realizadas se usa él volando y la base del eje. Las mediciones se basan en un reloj tomando en cuenta las horas 3, 6, 9 y 12. Estas nos permitirán identificar medidas para saber si el eje y el generador se encuentran alineados.

Con la ayuda del reloj palpador, se coloca la base en el volante y la punta del reloj palpador en una parte uniforme del eje. El reloj marca unas mediciones dependiendo de la nivelación del conjunto.



Figura 4.44. Técnica de alineación con la ayuda de reloj palpador

Los pasos para seguir, usando el reloj palpador son los siguientes:

1. Se ajusta el cero en el indicador y golpeando suavemente la superficie se verifica la estabilidad en la posición 12 horas.
2. Se gira a la posición 6 horas, anotando las lecturas que nos presenten en el indicador.
3. Se gira a la posición 3 y 9 horas, leemos los valores indicados en el reloj palpador. El valor en esta medida deberá ser la mitad del valor en la posición 6 horas.
4. Se retoma el conjunto a la posición 12 horas, el indicador debe tener una medida de cero.

Con la ayuda de las fórmulas [54]:

- Movimiento vertical: Si el resultado es un valor positivo debe subirse el generador, caso contrario si el resultado es negativo debe bajarse.

$$Pd = \frac{Fv \times B}{D} - \frac{RV}{2} \quad Ec. 11$$

$$Pt = \frac{Fv \times A}{D} - \frac{RV}{2} \quad Ec. 12$$

- Movimiento horizontal: Si el resultado es un valor positivo debe moverse el generador hacia la izquierda, caso contrario si el valor es negativo debe moverse hacia la derecha.

$$Pd = \frac{Fh \times B}{D} - \frac{RH}{2} \quad Ec. 13$$

$$Pt = \frac{Fh \times A}{D} - \frac{RH}{2} \quad Ec. 14$$

RH - RV = Radial vertical y horizontal.

B = Distancia parte delantera.

Fh = Fuerza horizontal.

Fv = Fuerza vertical.

D = Distancia entre eje y generador.

Ejemplo Movimiento horizontal:

Utilizando la formula, y realizando los cálculos se obtiene un valor. Este valor significa que tanto debemos mover el generador, al ser un valor negativo debe moverse hacia la derecha. Se utiliza los cuatro puntos 1, 2, 3 y 4 como referencia para mover el generador.

Datos tomados en cuenta para la nivelación:

D= 315

RV= 0,35

B= 865

A=1435

$$Pd = \frac{-0,15 \times 865}{315} - \frac{0,7}{2} = -0,7$$

$$Pt = \frac{-0,15 \times 1435}{315} - \frac{0,7}{2} = -1$$

Con la ayuda del reloj palpador podemos comprobar si el conjunto se encuentra nivelado. Dependiendo del valor mostrado, se utiliza para realizar los cálculos. Los ajustes se hacen en forma de X en los puntos 1, 4, 3 y 2 por ejemplo.

El valor obtenido en la fórmula significa el grosor de las láminas que debemos utilizar en los diferentes puntos, se realiza el apreté de los pernos en forma de X para garantizar que

el generador se encuentre en su sitio. El proceso se repite hasta tener unas medidas acordes a la nivelación. El equipo, al ser antiguo marcará unos valores no precisos próximos al 100%.

4.6. Discusión de resultados

4.6.1. Pruebas de funcionamiento

Al poner en marcha el grupo N°2, se hace girar en un tiempo estimado de 3 a 5 horas, en donde, se verifica la temperatura que presenta el cojinete. Según el estado de mantenimiento dado se darán dos casos: La temperatura sube de manera rápida o la temperatura sube lentamente.

Si se da el primer caso significa que existe algún choque, por lo que se llega a una conclusión que el conjunto no se encuentra nivelado. Si se da el segundo caso quiere decir que el conjunto se encuentra nivelado.

Para saber a qué RPM se encuentra girando el conjunto se utiliza un PLC, se va incrementando poco a poco las revoluciones por minuto. En donde al aproximarse a 1000 RPM, se obtiene una temperatura mínima de 39 °C y una máxima de 42°C.



Figura 4.45. Marcación de PLC en revoluciones por minuto

Al llegar a 1030 RPM, el equipo empieza a tener vibraciones. Se para la prueba de funcionamiento, y se verifica que todo el conjunto se encuentre con los ajustes necesarios. Se llega a la conclusión, que la cara del volante no presenta una cara plana, la misma produce que el conjunto se desnivele y se generen altas vibraciones. Al lograr que se supere las 1000 RPM el conjunto entra en operación, en este momento, se incrementa la capacidad de voltaje. La primera prueba se realiza con 200 V, donde se verifica en todo momento la temperatura

presente en el cojinete, si esta no sube exponencialmente se ira subiendo la capacidad de voltaje. El equipo sigue subiendo su voltaje, se comprueba que la temperatura no supere los 60 °C.

Una forma de verificar que no presente irregularidades la prueba de funcionamiento es con la medición de la temperatura. Si esta se incrementa de manera rápida, significa que se debe verificar los posibles fallos que presenta la máquina. Cuando se alcanza los 400 V aproximadamente significa que el conjunto puede entrar en operación



Figura 4.46. Centro de máquinas, medición de voltaje

La turbina al entrar en funcionamiento, una forma de comprobar si existe desgaste en las piezas es en el punto A. Debido a que si existe una separación entre el cojinete guía y el cojinete axial significa que hubo un empuje contra el cojinete axial, haciendo que el mismo empiece a perder sus dimensiones. Se comprueba que al pasar unos meses existe este desgaste, se lo debe tomar en cuenta a tiempo, para así evitar un mantenimiento correctivo. Se debe rectificar las piezas afectadas para poder volver a entrar en operación.

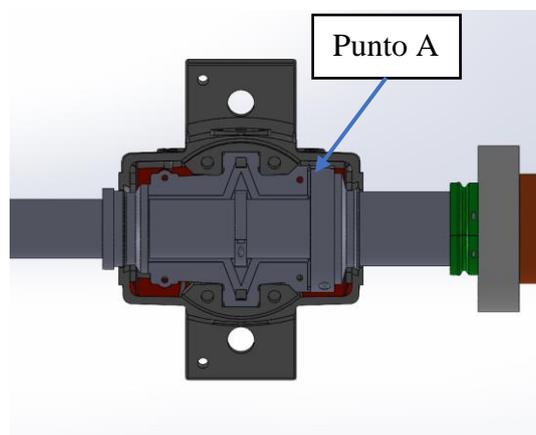


Figura 4.47. Chumacera – cojinete guía – cojinete axial.

En el caso del rodete, podemos comprobar las medidas de separación que se den entre el diámetro externo del rodete. Si existen medidas que sobrepase una holgura máxima de 0.7 mm, significa que el conjunto ya no se encuentra nivelado ni alineado por lo que requiere un plan de mantenimiento. Este sería el punto guía para saber si el conjunto se encuentra nivelado y alineado.

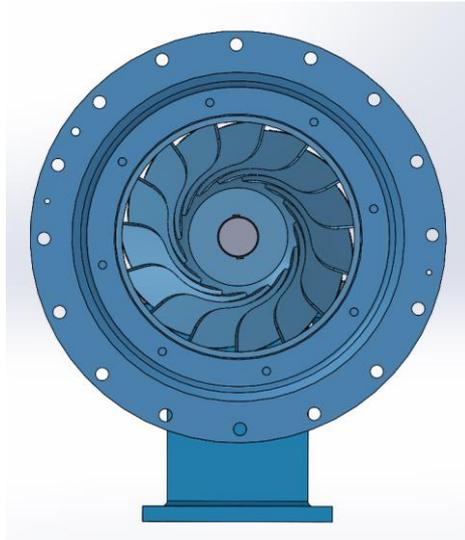


Figura 4.48. Rodete entre anillo exterior de caracola.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Las turbinas tipo Francis cumplen su función de convertir el movimiento del agua en energía mecánica rotacional. Existen parámetros que influyen en la eficiencia de esta como son: El estado de los álabes, rodete, distribuidor, turbulencia, perdidas por fugas, altas vibraciones, entre otras. Los elementos de la turbina, al tener piezas antiguas, presentan diferentes irregularidades en sus medidas. Estas requieren ser rectificadas debido al desgaste, pero con el pasar del tiempo, vuelven a presentar fallas. Para realizar el proceso a la mayoría de las piezas, los costos serian elevados, se da prioridad a las partes en donde se presenta temperaturas altas.

El diseño de los elementos que conforman al grupo N.º 2, permiten tener un registro de las medidas originales al momento de ser rectificadas. Dato importante, debido a que por el deterioro que presente a lo largo del tiempo y por temas económicos, se logra comparar cuanto fue el desgaste de las piezas. Con ello se analiza si estas requieren un mantenimiento preventivo o correctivo. Los diseños 3D nos muestran en una vista previa en que posición se encuentra cada elemento. En donde, se analiza si estos están teniendo desgaste, movimiento o desajustes. Al compararlo con los datos obtenidos, se logra detectar si la rectificación de cada pieza fue correcta. Esto fue un gran aporte a la empresa, que para futuros trabajos de mantenimiento tienen una guía de las dimensiones utilizadas en cada pieza.

Las hojas de procesos para mantenimiento pueden ser aplicadas a diversos componentes de la turbina hidroeléctrica tipo Francis, por ejemplo. Los cojinetes axiales presentan deformaciones en su diseño. Debido a las elevadas temperaturas al momento de estar en operación, llegando a provocar desgastes. Para prevenirlo puede aplicarse las funciones de monitoreo, como en este ejemplo se verifica que es de gran importancia tener un control y medición de las temperaturas. Dependiendo del estado que presente la turbina. Deben aplicarse procesos de mantenimiento preventivo, para contrarrestar los problemas de funcionamiento que puedan prevenir que la planta se paralice.

Los procesos de alineación y nivelación deben aplicarse después de realizar una comprobación en la superficie, uniones, partes móviles y el estado de las piezas. Una vez que se sabe el estado de los equipos a ser alineados, se debe tomar en cuenta el proceso, utilizando el reloj palpador. Este nos permitirá saber que tan alineado se encuentra el conjunto, con la ayuda de los cálculos verificamos cuando subir o bajar el generador con la ayuda de laines de diversos espesores anteriormente calculados. Como se indicó, el equipo al ser antiguo no permite una alineación perfecta, pero para que pueda entrar en funcionamiento la turbina, se debe buscar la que permita tener mayor producción de energía.

Al realizar las diferentes pruebas de funcionamiento con los mantenimientos aplicados. Se comprueba que el conjunto al estar nivelado, alineado y en operación, al pasar los meses empieza a presentar desgastes en los cojinetes axiales, debido a las altas vibraciones y movimiento de los elementos. Se verifica que al momento de que la turbina empieza a desalinearse, es posible ver que en el rodete externo se mide la separación y esta es diferente en comparación al resto de la circunferencia. Esto sucede debido a que las piezas son antiguas y no se han intervenido con un proceso de rectificación. Los precios sobrepasan el presupuesto del mantenimiento, si se ejecutara a todas las partes.

Se busca que la turbina pueda generar energía, con las limitaciones presentes, en donde se deberá realizar un mantenimiento correctivo cada 6 meses a las partes que más lo necesiten. Con esto se puede aprovechar la producción de energía, hasta que la máquina garantice la operación sin perjudicar a las demás piezas mecánicas.

5.2. Recomendaciones

Al ser piezas con imperfecciones se debe analizar cuál de ellas perjudica la operación de la turbina. Una vez realizado el análisis, se debe aplicar un mantenimiento correctivo dependiendo del daño que presente. Debido a los altos costos, se debe dar prioridad a las piezas ya analizadas, con el fin de buscar el mayor tiempo de operación de la turbina. Se debe de aplicar mantenimientos preventivos para que eviten que la producción no sea paralizada por algún daño de emergencia. Se debe utilizar un plan de mantenimiento preventivo como prioritario para que se pueda reducir el desgaste de las piezas donde presentan altas temperaturas.

Los diseños CAD nos dan una gran ayuda para tener un registro de medidas y posiciones de las piezas. Debe tomarse en cuenta este proceso, ya que gracias a la facilidad que da el software nos permite diseñar cualquier pieza que necesitemos estudiar. Se debe tener cuidado al momento de realizar las mediciones, debido al tamaño presente, muchas de las medidas pueden variar según la herramienta utilizada. Estas medidas son claves para futuros trabajos de mantenimiento, que servirán para saber el grado de daño y la posible solución que sea aplicada a la turbina.

Al momento de realizar el proceso de alineación y nivelación se debe tomar en cuenta el estado de la base. Debido a que, si no se encuentra a nivel, esto complicará que se pueda ejecutar el proceso. Una vez que todas las piezas queden uniformes, se debe usar los cálculos y pruebas para llegar al estado deseado. Como se indicaba, debido a los años que tiene el generador y las demás partes, complica lograr que la turbina se encuentre nivelada y alineada en un 100%. Se debe tratar en lo posible llevar a cabo su nivelación y alineación en una precisión que sea próxima al 100%, que alargara los tiempos de operación. Se podría realizar una investigación para mejorar los tiempos de operación con las limitaciones presentes en cada hidroeléctrica.

BIBLIOGRAFÍA

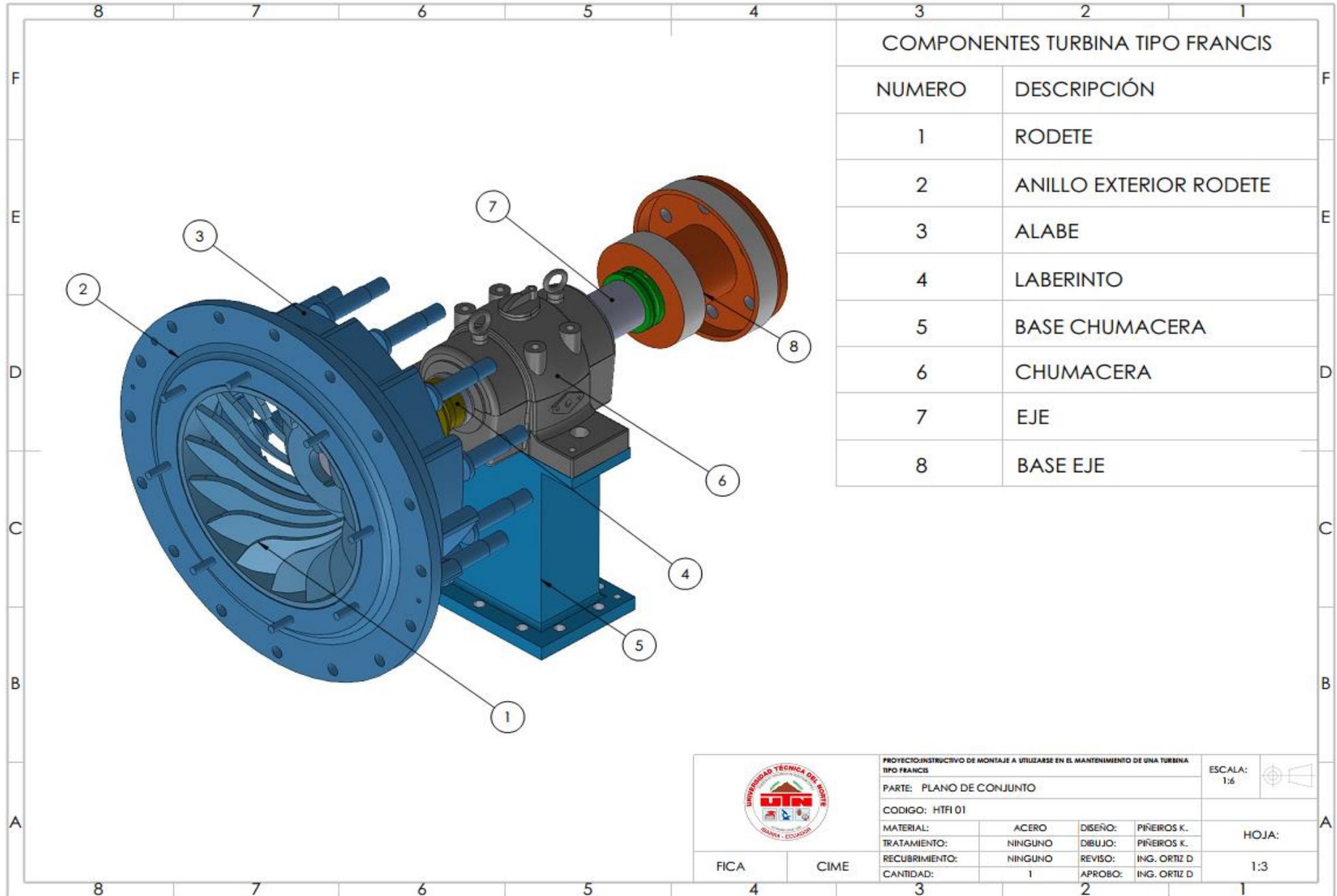
- 1] Vásquez, L. & Alvarado, P. *Corporación Eléctrica del Ecuador alista térmicas frente a eventual salida de Coca-Codo*. [En línea] Disponible en: *El Comercio*: <https://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/celec-termicas-salida-coca-codo-sinclair.html>. 2021.
- 2] CIA ENERQUEST CA. *Recursos hídricos*. [En línea] Disponible en: *La hora*: <https://www.lahora.com.ec/secciones/lunes-131106-28/>. 2006.
- 3] Rosales, A. *Informe ejecutivo rendición de cuentas*. Empresa Eléctrica Regional Norte S.A, 2020.
- 4] Agencia de regulación y control de electricidad. *Atlas del Sector Eléctrico Ecuatoriano*, 2018.
- 5] Guáitara, Mira y Mataje. *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible*, 2017.
- 6] Guachamín, W., Cadena, J., Carvajal, J., & García, F. *Cuenca rio Mira: Mapa de escurrimiento*, 2015.
- 7] CONELEC. *Boletín estadístico sector eléctrico ecuatoriano*, Quito, 2010.
- 8] Gómez Muños, G. P., & Méndez Peñaloza, G. F. *Propuesta para la gestión de mantenimiento de la Central Hidroeléctrica Ocaña*. Cuenca. Universidad Politécnica Salesiana, 2011.
- 9] Ortiz, D. *Entrevista realizada al responsable de Mantenimiento de la hidroeléctrica Hidrocarolina, Ibarra, 07 de abril de 2021*.
- 10] Valero, E. F. *Aportaciones al estudio de las maquinas eléctricas de flujo axial mediante la aplicación del método de los elementos finitos*. Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya. Departament d'Enginyeria, 2004.
- 11] Guarnizo L. *Conceptos básicos para un diagnóstico técnico en una minicentral hidroeléctrica*, Universidad EAFIT, Medellín. 2007.
- 12] Gallego, J. *Caracterización de una turbina del tipo Francis utilizada por una empresa local de generación de energía*, Universidad EAFIT, Medellín. 2006.
- 13] García, I. R., & Pérez, R. N. *Analysis of the fault and malfunctioning of a 15 MW hydraulic turbine*. x congreso y exposición latinoamericana de turbo maquinaria. 2007.
- 14] Cruz Jasso, A. *Implementación del mantenimiento predictivo en la empresa AGR-Rackend*. México: Universidad Tecnológica de Tula Tepeji. 2011.

- 15] Guarnizo L. *Conceptos básicos para un diagnóstico técnico en una minicentral hidroeléctrica*, Universidad EAFIT, Medellín. 2007.
- 16] Gallego, J. *Caracterización de una turbina del tipo Francis utilizada por una empresa local de generación de energía*, Universidad EAFIT, Medellín. 2006.
- 17] Focol, Atlas: *Potencial hidro energético de Colombia*. hidroenergía.
- 18] INEN. *Guía de prácticas para el desarrollo de estudios de inventario, prefactibilidad, factibilidad y diseño definitivo de proyectos de generación hidroeléctrica*. Quito-Ecuador, 2012.
- 19] OLADE ENERLAC. *Revista de energía de Latinoamérica y el Caribe*, 2017.
- 20] *II Curso latinoamericano de diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas*. Manual de diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas, Bucaramanga-Colombia. 1985.
- 21] Mora D. y Hurtado J. *Guía para estudios de prefactibilidad de pequeñas centrales hidroeléctricas como parte de sistemas híbridos*, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá D.C, 2004.
- 22] Sector electricidad. Disposición de una central hidroeléctrica. [En línea] Disponible en: <https://www.sectorelectricidad.com/23462/disposicion-de-una-centralhidroelectrica-falta-indicar-algo/> (Acceso: 25 de abril de 2023).
- 23] Google maps. [En línea]. Disponible en: <https://www.google.com/maps/@0.7258067,-78.2182445,336m/data=!3m1!1e3!5m1!1e4?authuser=0> (Acceso: 04 de enero de 2023)
- 24] Hurtado F. *Manual de operaciones del sistema de agua de enfriamiento en la central hidroeléctrica Agoyan*. Universidad Técnica de Ambato, 2006.
- 25] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. *Manuales de energías renovables: minicentrales hidroeléctricas*, IDEA, 2006.
- 26] Guarnizo L. *Conceptos básicos para un diagnóstico técnico en una minicentral hidroeléctrica*, Universidad EAFIT, Medellín. 2007.
- 27] Hurtado F. *Manual de operaciones del sistema de agua de enfriamiento en la central hidroeléctrica Agoyan*. Universidad Técnica de Ambato, 2006.
- 28] Gómez V. *Diseño eléctrico de la micro central hidroeléctrica Pucuno, red de transmisión y distribución para la población de Wuamani*. Universidad Politécnica Salesiana, 2010.
- 29] Marmolejo A. y Agustín J. *Turbinas Hidráulicas: Cátedra de conversión de energía*. Facultad de Ingenierías. Universidad del Valle Medellín: s.n, p 1-3, 36. 1997.

- 30] *Fuchun Industry development Co, ltd Shenzhen. Manual de instrucciones para instalación, operación y mantenimiento, 2013.*
- 31] *Agudelo, S. Diseño, simulación, fabricación y caracterización de una turbina tipo Pelton de 5 kW. Ing. compet. [En línea]. 2013.*
- 32] *Almeda E. Montaje electromecánico de turbina y generador unidad número uno Hidroeléctrica XACBAL, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2013.*
- 33] *Noguera J. & Larrahondo F. & Cárdenas J., Diseño de un cojinete de empuje tipo pads inclinables para la unidad 2 de la central hidroeléctrica Rio Cali 2. Colombia.*
- 34] *Fuentes de ahorro de energía. Turbina tipo Francis, febrero, 2012 [En línea] Disponible en: <https://faeitch2012.wordpress.com/2012/02/29/turbinas-francis/>.*
- 35] *Agencia de cooperación internacional de Japón. Manual del mantenimiento del sistema de lubricación. X Instituto de Investigación Co., Ltd. 2012.*
- 36] *García O. El mantenimiento general. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. 2006.*
- 37] *Lorival A. Administración moderna de mantenimiento. Novo polo. Brasil.*
- 38] *Kalo Engineering Inc. Manual de instrucciones: Instalación, operación y mantenimiento. Mankato, MN USA. 2012.*
- 39] *Chung, A.R. Software libre aplicado al dibujo industrial: el caso Blender. 12. Industrial Data, [En línea] Disponible en: <http://www.redalyc.org/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=81620149010>. Junio 2009.*
- 40] *Sanz, F., Blanco, J. CAD-CAM. Gráficos, animación y simulación por ordenador. Madrid. ITES-Paraninfo. 2002.*
- 41] *M. García. “Vibraciones en máquinas rotativas; análisis de órdenes”, Trabajo de fin de grado, Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla. [En línea] Disponible en: <https://idus.us.es/xmlui/handle/11441/69428>. 2017.*
- 42] *Grupo Tecnología Mecánica. Procesos de fabricación: Ajustes y tolerancias.*
- 43] *Appold H. & Feiler K. & Reinhard A. & Schmidt P. Tecnología de los metales, EDIBOSCO, Alemania, 1984.*
- 44] *Grupo Tecnología Mecánica – Procesos de fabricación. Ajustes y Tolerancias. [En línea] Disponible en: <http://www3.fi.mdp.edu.ar/tecnologia/archivos/TecFab/11.pdf>*
- 45] *MasterHack Blogs. Ajustes: definiciones y generalidades [En línea] Disponible en: <https://blogs.masterhacks.net/ingenieria/manufactura/ajustes-definiciones-y-generalidades/>*

- 46] *Rodríguez H. Ajustes y tolerancias en los procesos mecanizados. Inge mecánica, España [En línea] Disponible en: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn19.htm>*
- 47] Berbes P. Estudio experimental de holguras en ejes. Universidad Carlos III de Madrid. 2018.
- 48] *Rodríguez H. Ajustes y tolerancias en los procesos mecanizados. Inge mecánica, España [En línea] Disponible en: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn19.html>*
- 49] *Easy Laser. Alineación de ejes con 5 métodos de medición diferentes. Porque Easy Laser. [En línea] Disponible en: <https://easylaser.com/es-es/porqu%C3%A9easylaser/blog/alineaci%C3%B3n-de-ejes-con-4-m%C3%A9todos-de-medici%C3%B3n> (Acceso: 21 de febrero de 2023)*
- 50] *A. Fernández. Manual análisis de vibraciones. Desalineación. Power-MI.*
- 51] *G. Vogel. Logrando una alineación adecuada detectando y corrigiendo el pie suave. Electrical Apparatus Service Association. 2016.*
- 52] *Roshfrans. Aceite Hidráulico Antidesgaste (AW) ISO VG 68. Industrial Vallejo C.P. [En línea] Disponible en: https://www.roshfrans.com/documentos/fichasTecnicasySeguridad/22_HDT_ACEITE_HIDRAULICO_ANTIDESGASTE.pdf (Acceso: 28 de mayo de 2023)*
- 53] *SKF. Acerca de la alineación de ejes. [En línea] Disponible en: <https://www.skf.com/co/products/maintenance-products/alignment-tools/shaft-alignment/about-shaft-alignment>.*
- 54] *Ortiz, D. Entrevista realizada al responsable de Mantenimiento de la hidroeléctrica Hidrocarolina, Ibarra, 08 de abril de 2021.*

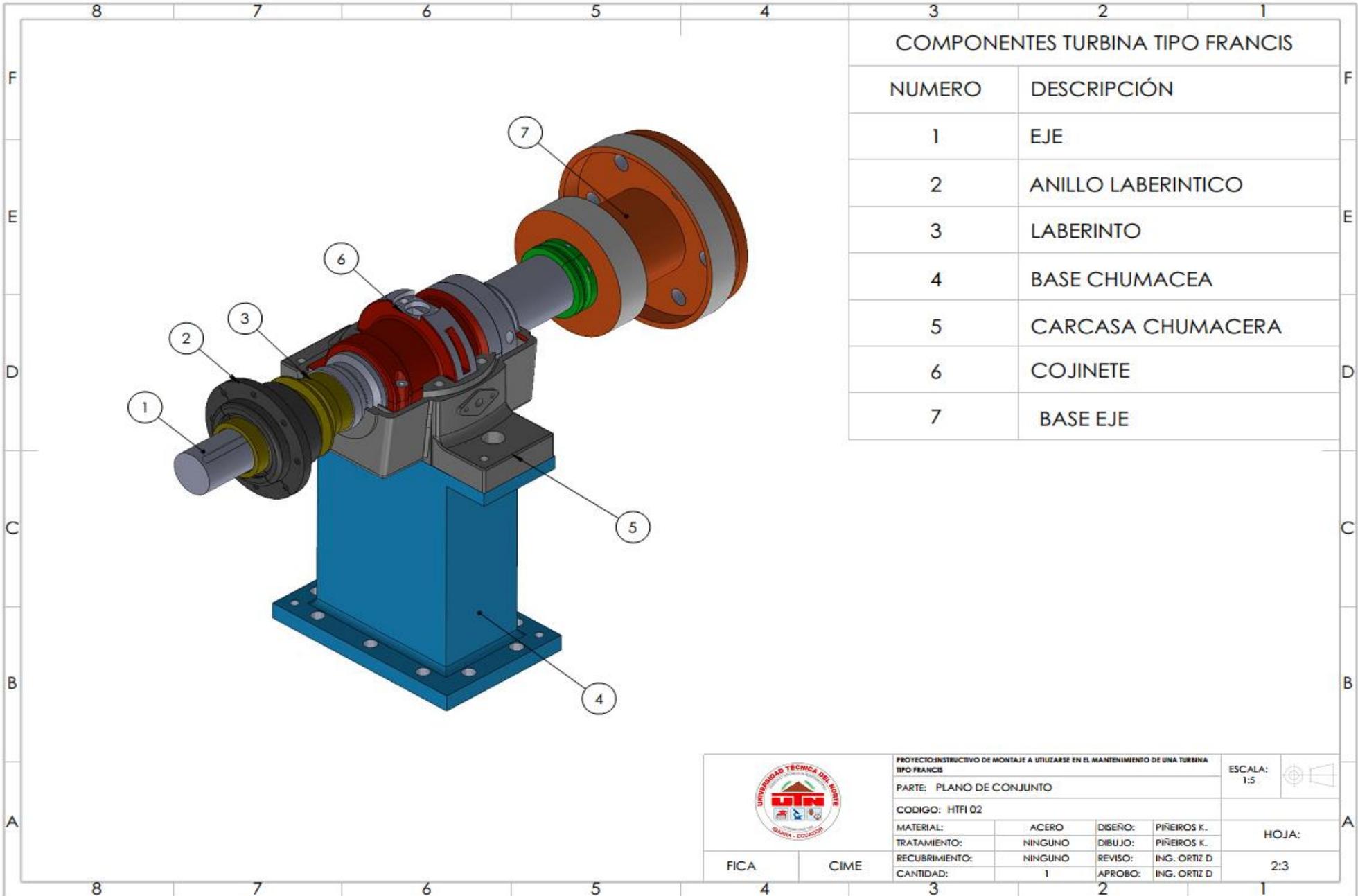
ANEXOS



COMPONENTES TURBINA TIPO FRANCIS	
NUMERO	DESCRIPCIÓN
1	RODETE
2	ANILLO EXTERIOR RODETE
3	ALABE
4	LABERINTO
5	BASE CHUMACERA
6	CHUMACERA
7	EJE
8	BASE EJE

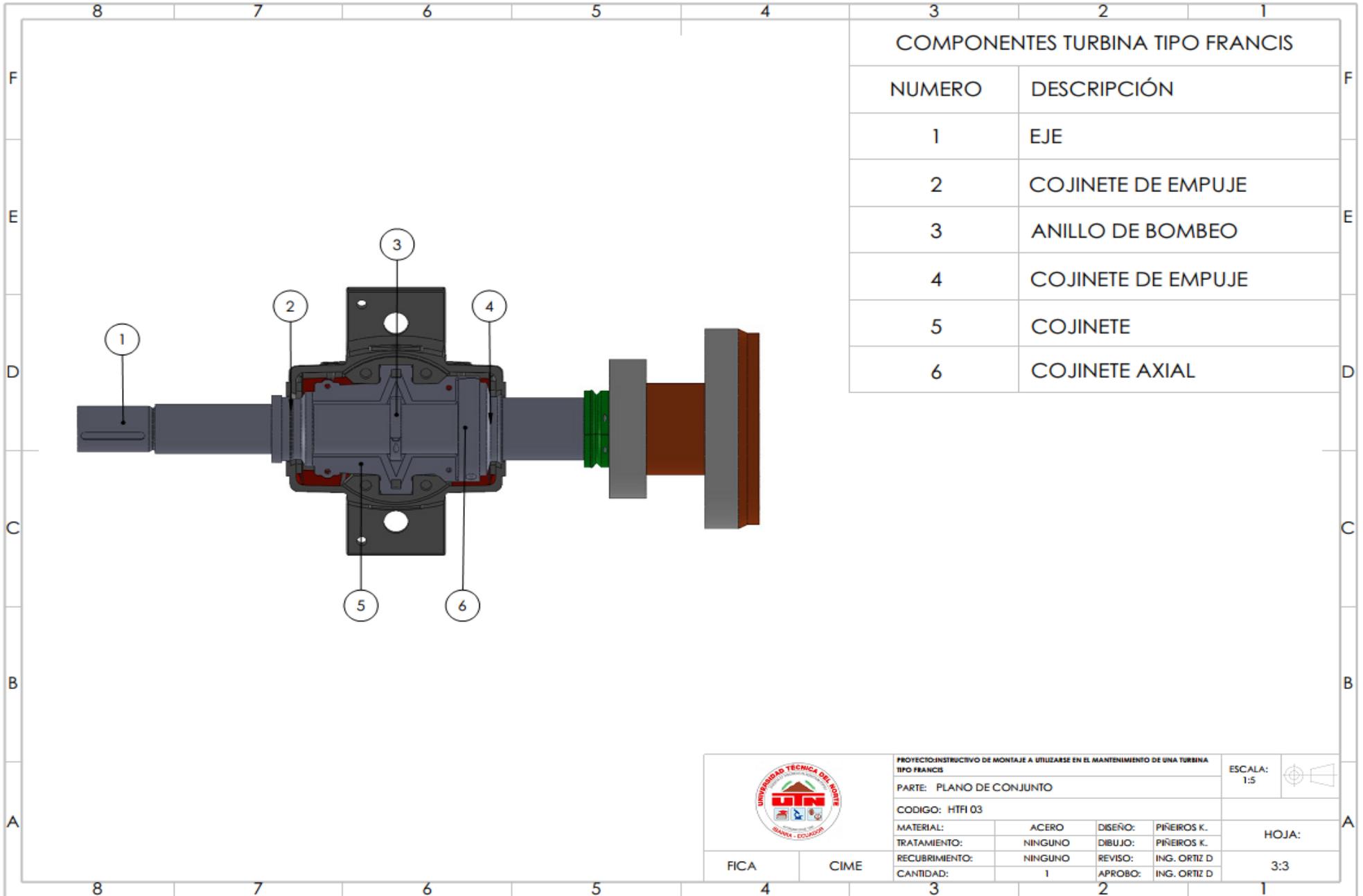
	PROYECTO: INSTRUCTIVO DE MONTAJE A UTILIZARSE EN EL MANTENIMIENTO DE UNA TURBINA TIPO FRANCIS			ESCALA: 1:6	
	PARTE: PLANO DE CONJUNTO				
	CODIGO: HTFI 01				HOJA: 1:3
	MATERIAL:	ACERO	DISEÑO:	PIÑEROS K.	
	TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJO:	PIÑEROS K.	
RECUBRIMIENTO:	NINGUNO	REVISO:	ING. ORTIZ D.	APROBO: ING. ORTIZ D.	
CANTIDAD:	1				

FICA CIME



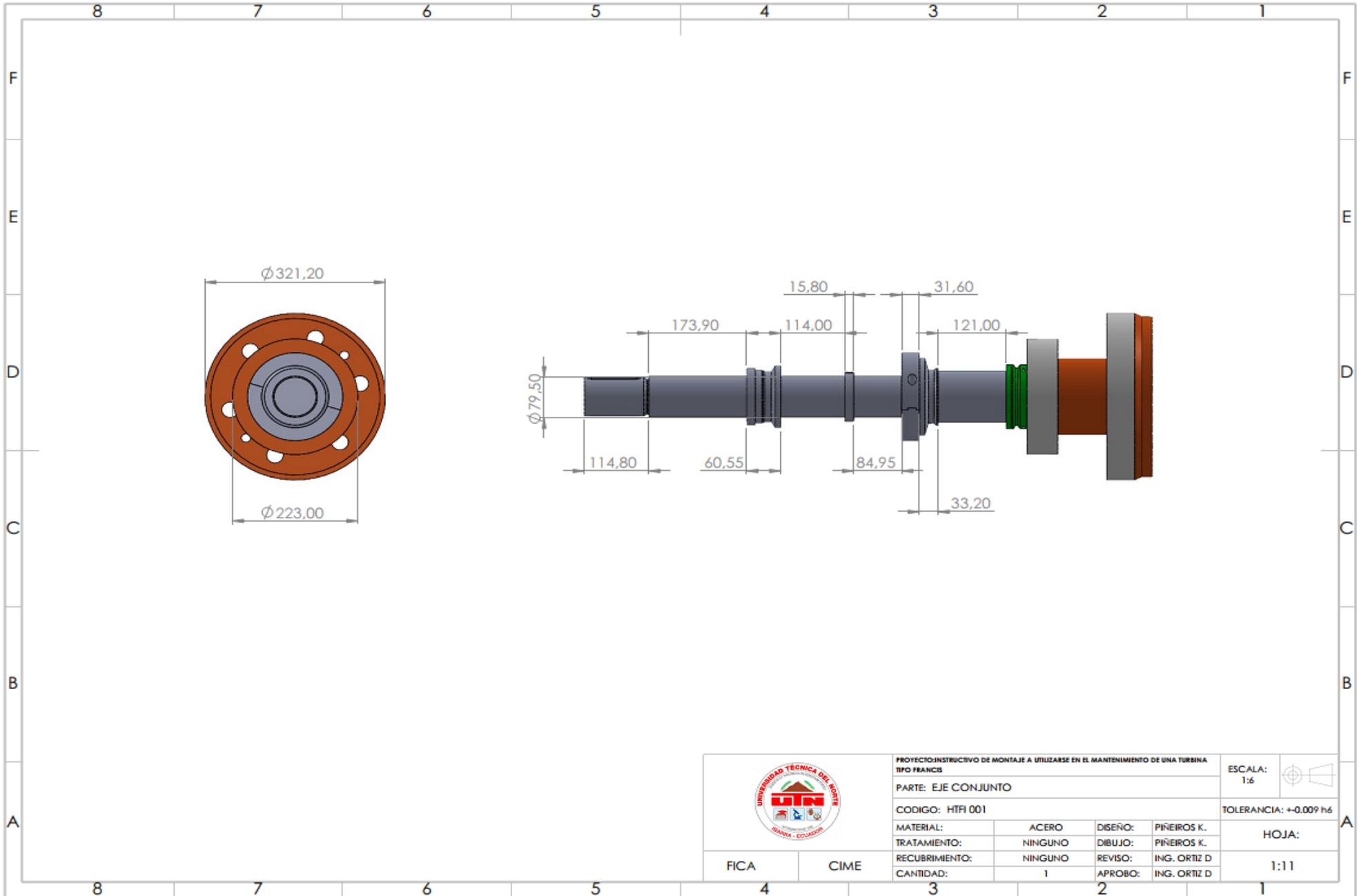
COMPONENTES TURBINA TIPO FRANCIS	
NUMERO	DESCRIPCIÓN
1	EJE
2	ANILLO LABERINTICO
3	LABERINTO
4	BASE CHUMACEA
5	CARCASA CHUMACERA
6	COJINETE
7	BASE EJE

	PROYECTO INSTRUCTIVO DE MONTAJE A UTILIZARSE EN EL MANTENIMIENTO DE UNA TURBINA TIPO FRANCIS			ESCALA: 1:5	
	PARTE: PLANO DE CONJUNTO				
CODIGO: HTFI 02					
MATERIAL:	ACERO	DISEÑO:	PIÑEIRO K.	HOJA:	
TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJO:	PIÑEIRO K.		
RECUBRIMIENTO:	NINGUNO	REVISO:	ING. ORTIZ D.		
CANTIDAD:	1	APROBO:	ING. ORTIZ D.	2:3	
FICA	CIME				

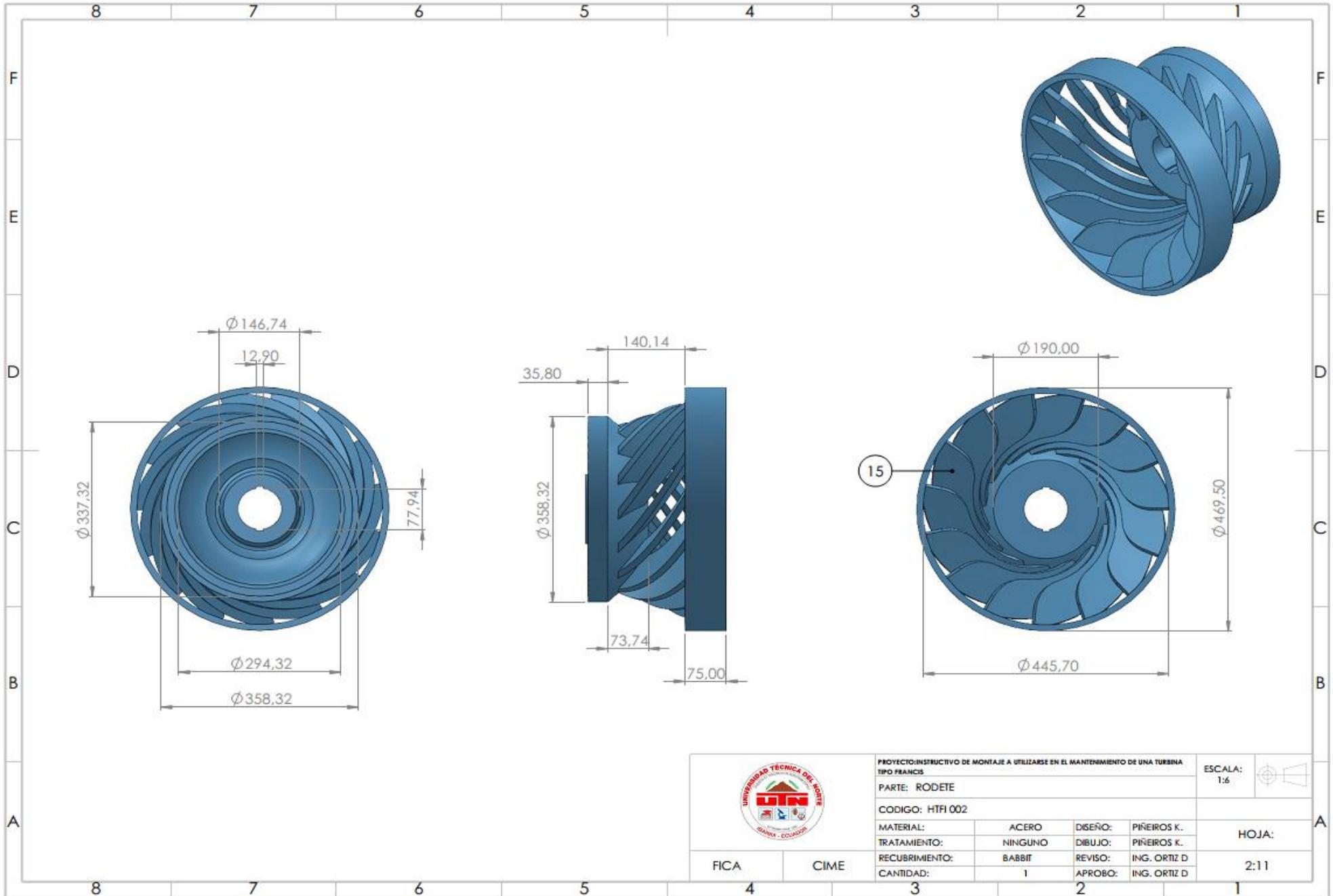


COMPONENTES TURBINA TIPO FRANCIS	
NUMERO	DESCRIPCIÓN
1	EJE
2	COJINETE DE EMPUJE
3	ANILLO DE BOMBEO
4	COJINETE DE EMPUJE
5	COJINETE
6	COJINETE AXIAL

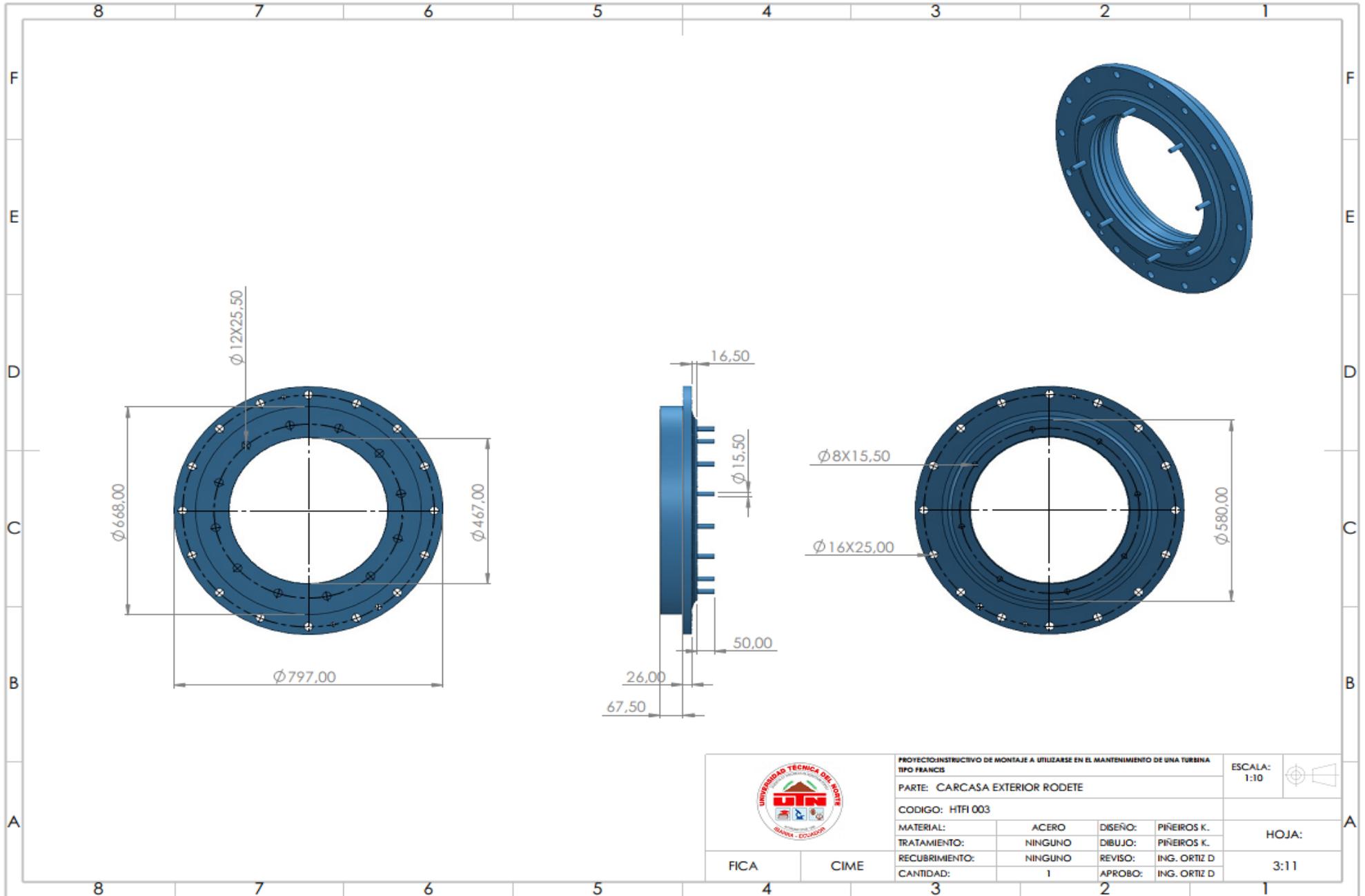
	PROYECTO: INSTRUCTIVO DE MONTAJE A UTILIZARSE EN EL MANTENIMIENTO DE UNA TURBINA TIPO FRANCIS			ESCALA: 1:5	
	PARTE: PLANO DE CONJUNTO				
	CODIGO: HTFI 03				
	MATERIAL: ACERO	DISEÑO: PIÑEROS K.	HOJA:		
TRATAMIENTO: NINGUNO	DIBUJO: PIÑEROS K.	3:3			
RECURRIMIENTO: NINGUNO	REVISO: ING. ORTIZ D				
CANTIDAD: 1	APROBO: ING. ORTIZ D				
FICA	CIME				



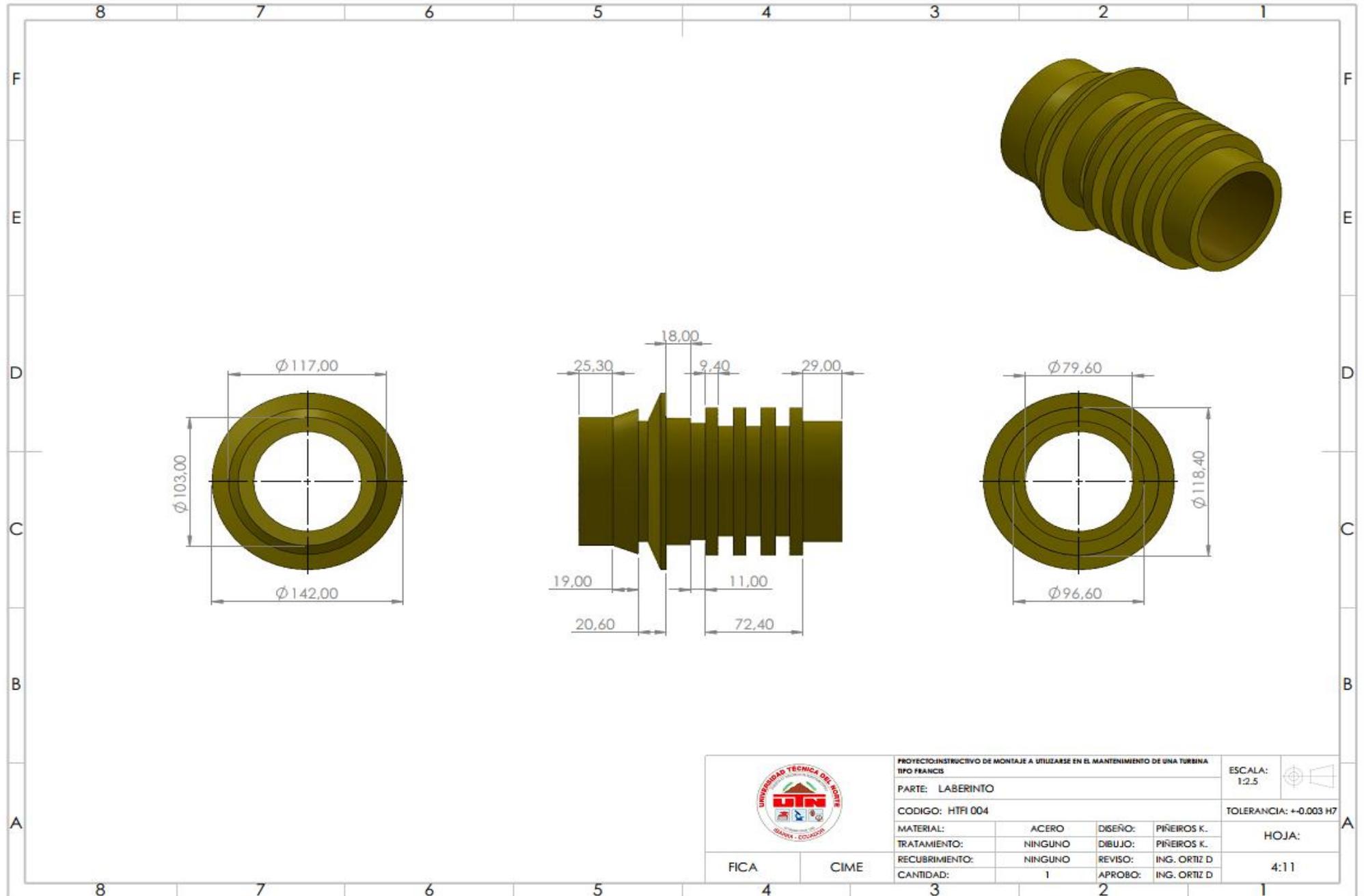
				PROYECTO: INSTRUCTIVO DE MONTAJE A UTILIZARSE EN EL MANTENIMIENTO DE UNA TURBINA TIPO FRANCIS PARTE: EJE CONJUNTO		ESCALA: 1:6	
				CODIGO: HTRI 001		TOLERANCIA: +0.009 h6	
MATERIAL:	ACERO	DISEÑO:	PIÑEROS K.	HOJA: 1:11			
TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJO:	PIÑEROS K.				
RECUBRIMIENTO:	NINGUNO	REVISO:	ING. ORTIZ D				
CANTIDAD:	1	APROBO:	ING. ORTIZ D				
FICA	CIME						



		PROYECTO: INSTRUCTIVO DE MONTAJE A UTILIZARSE EN EL MANTENIMIENTO DE UNA TURBINA TIPO FRANCIS		ESCALA: 1:6
		PARTE: RODETE CODIGO: HTFI 002		
MATERIAL: ACERO		DISEÑO: PIÑEROS K.		HOJA: 2:11
TRATAMIENTO: NINGUNO		DIBUJO: PIÑEROS K.		
RECUBRIMIENTO: BABBIT		REVISO: ING. ORTIZ D		
CANTIDAD: 1		APROBO: ING. ORTIZ D		
FICA	CIME			



	PROYECTO: INSTRUCTIVO DE MONTAJE A UTILIZARSE EN EL MANTENIMIENTO DE UNA TURBINA TIPO FRANCIS			ESCALA: 1:10	
	PARTE: CARCASA EXTERIOR RODETE				
FICA	CIME	CODIGO: HTFI 003			HOJA: 3:11
		MATERIAL: ACERO	DISEÑO: PIÑEROS K.		
		TRATAMIENTO: NINGUNO	DIBUJO: PIÑEROS K.		
		RECUBRIMIENTO: NINGUNO	REVISO: ING. ORTIZ D.		
		CANTIDAD: 1	APROBO: ING. ORTIZ D.		



PROYECTO: INSTRUCTIVO DE MONTAJE A UTILIZARSE EN EL MANTENIMIENTO DE UNA TURBINA TIPO FRANCIS

PARTE: LABERINTO

CODIGO: HTFI 004

MATERIAL:	ACERO	DISEÑO:	PIÑEROS K.
TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJO:	PIÑEROS K.
RECUBRIMIENTO:	NINGUNO	REVISO:	ING. ORTIZ D
CANTIDAD:	1	APROBO:	ING. ORTIZ D

ESCALA: 1:2.5



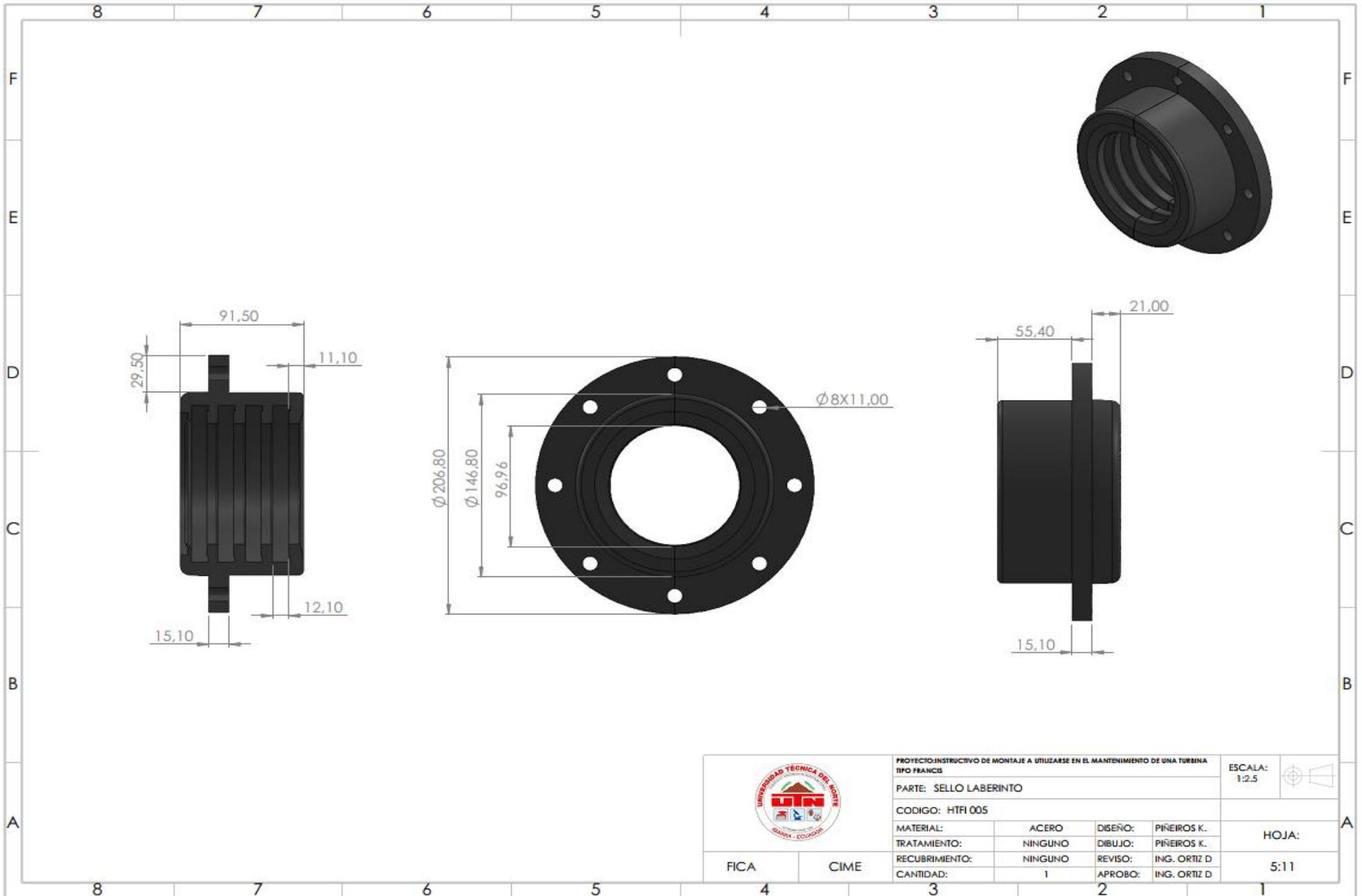
TOLERANCIA: $+0,003 H7$

HOJA:

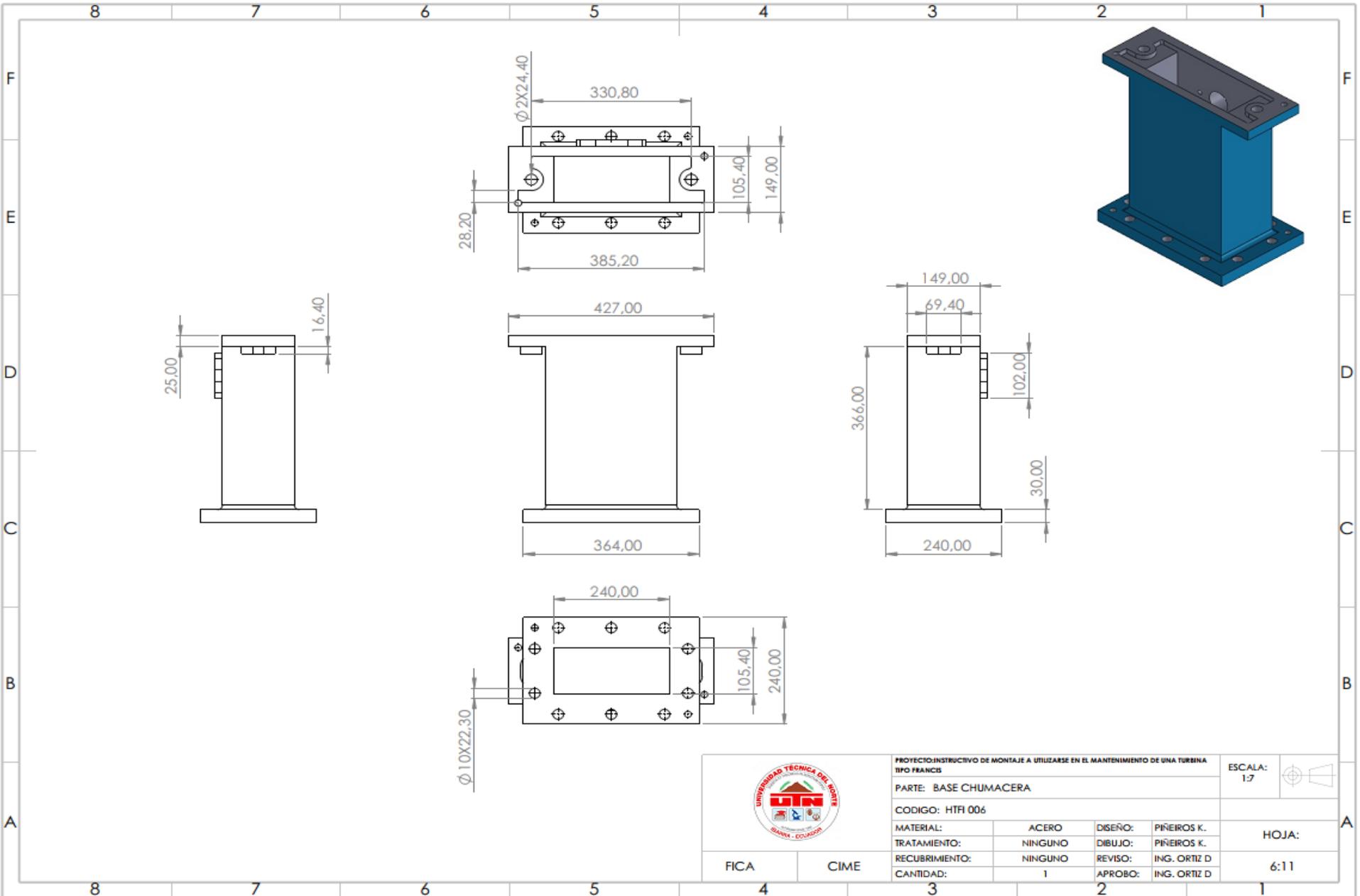
4:11

FICA

CIME



				PROYECTO: INSTRUCTIVO DE MONTAJE A UTILIZARSE EN EL MANTENIMIENTO DE UNA TURBINA TIPO FRANCIS PARTE: SELLO LABERINTO CODIGO: HTFI 005				ESCALA: 1:2.5	
				MATERIAL:	ACERO	DISEÑO:	PIÑEROS K.	HOJA: 5:11	
TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJO:	PIÑEROS K.						
RECUBRIMIENTO:	NINGUNO	REVISO:	ING. ORTIZ D						
CANTIDAD:	1	APROBO:	ING. ORTIZ D						
FICA	CIME								



PROYECTO: INSTRUCTIVO DE MONTAJE A UTILIZARSE EN EL MANTENIMIENTO DE UNA TURBINA TIPO FRANCIS
 PARTE: BASE CHUMACERA
 CODIGO: HTFI 006
 MATERIAL: ACERO
 TRATAMIENTO: NINGUNO
 RECUBRIMIENTO: NINGUNO
 CANTIDAD: 1

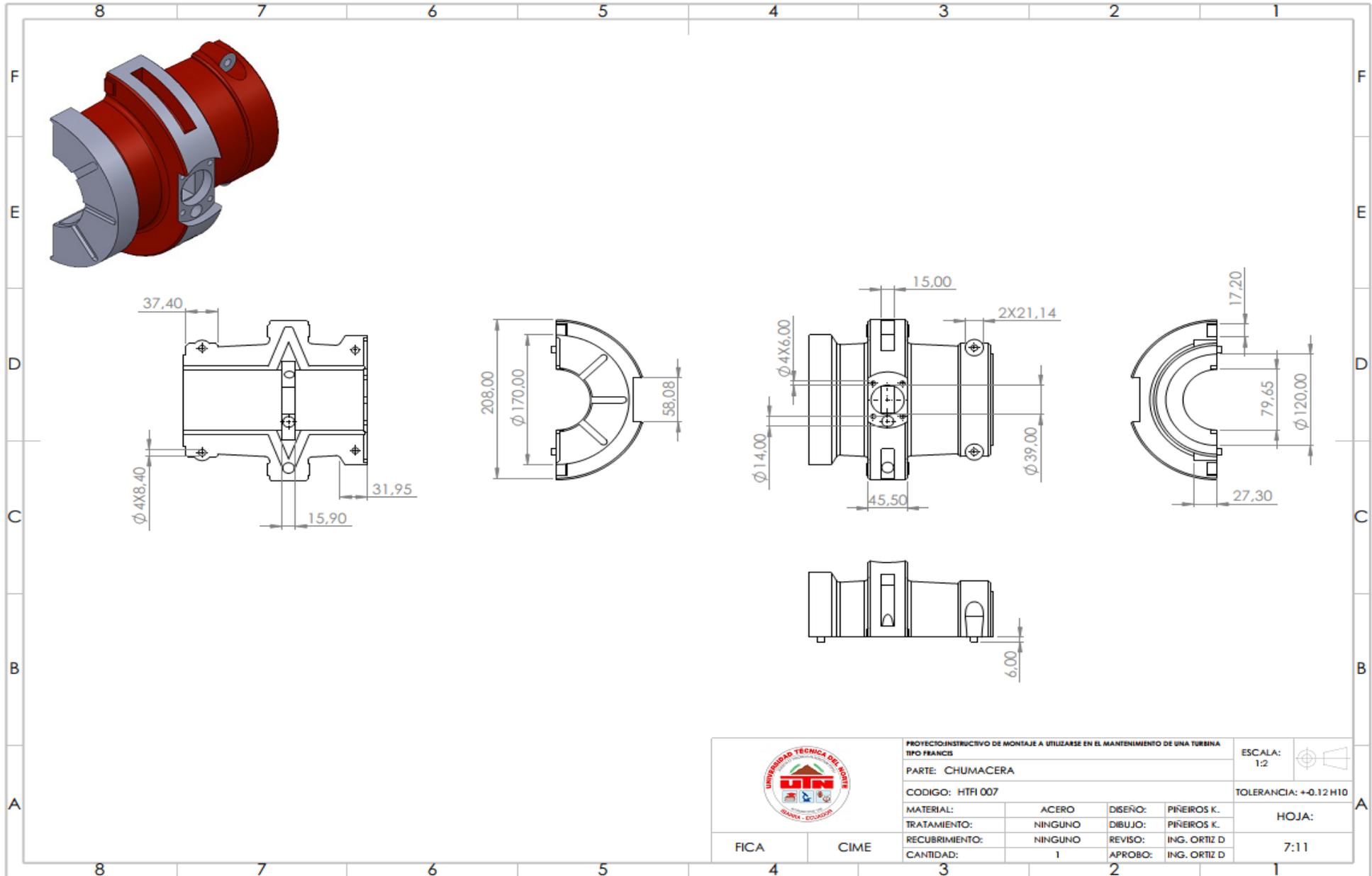
DISEÑO: PIÑEROS K.
 DIBUJO: PIÑEROS K.
 REVISO: ING. ORTIZ D.
 APROBO: ING. ORTIZ D.

ESCALA: 1:7

HOJA: 6:11

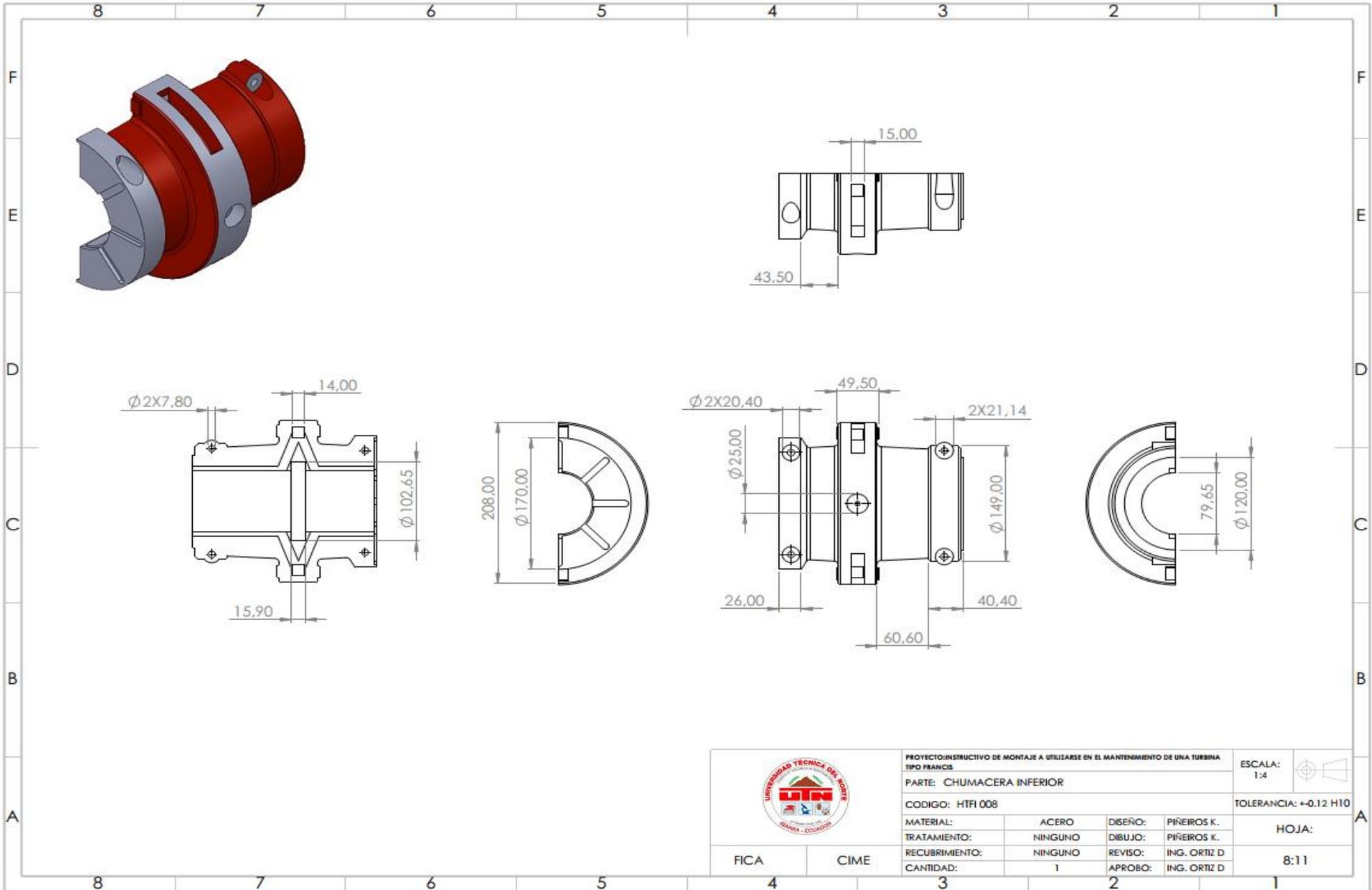
FICA

CIME

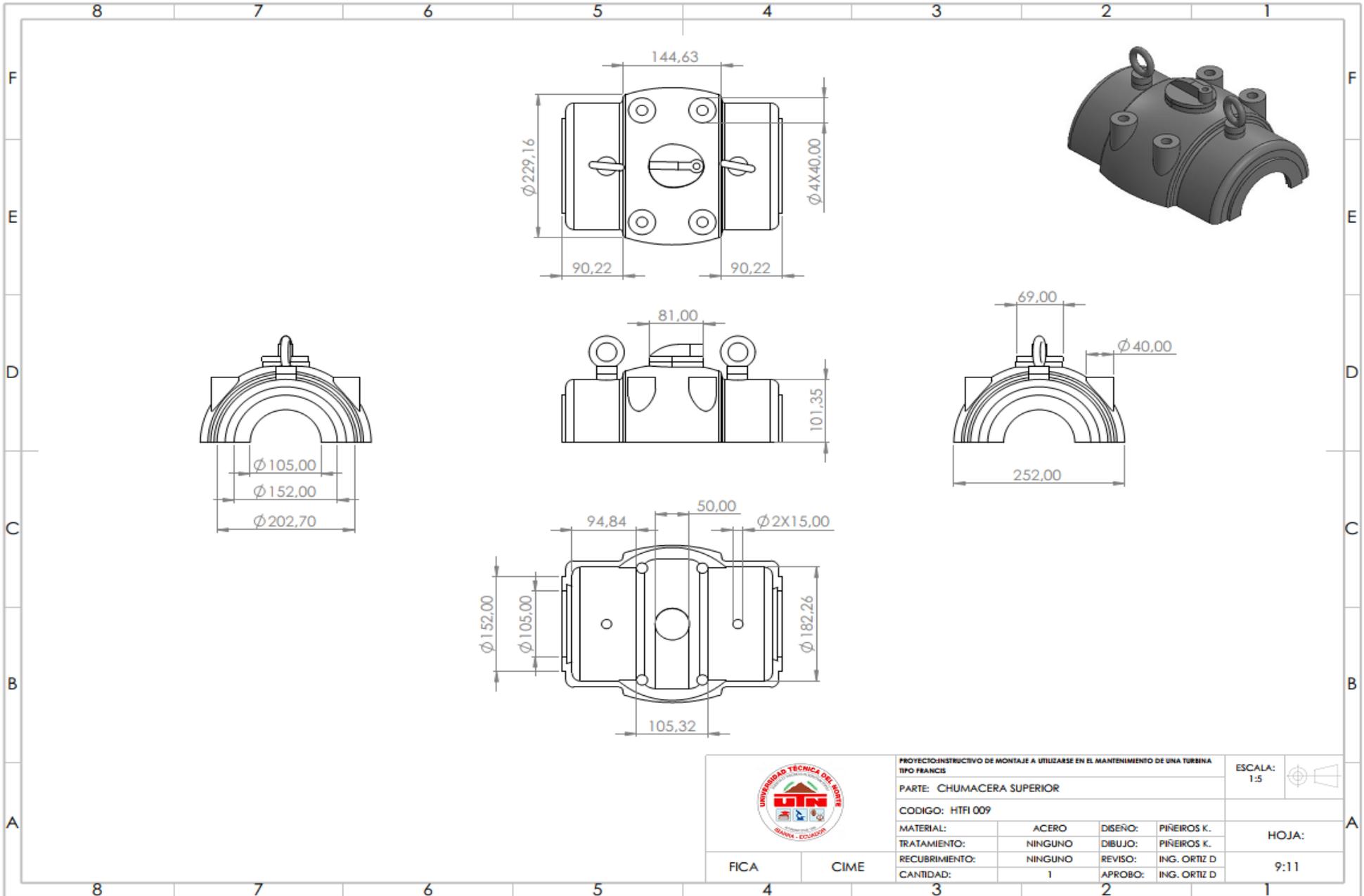


	PROYECTO INSTRUCTIVO DE MONTAJE A UTILIZARSE EN EL MANTENIMIENTO DE UNA TURBINA TIPO FRANCIS				ESCALA: 1:2
	PARTE: CHUMACERA				
CODIGO: HTH 007				TOLERANCIA: +0.12 H10	
MATERIAL: ACERO		DISEÑO: PIÑEROS K.		HOJA:	
TRATAMIENTO: NINGUNO		DIBUJO: PIÑEROS K.		7:11	
RECUBRIMIENTO: NINGUNO		REVISO: ING. ORTIZ D			
CANTIDAD: 1		APROBO: ING. ORTIZ D			

FICA CIME



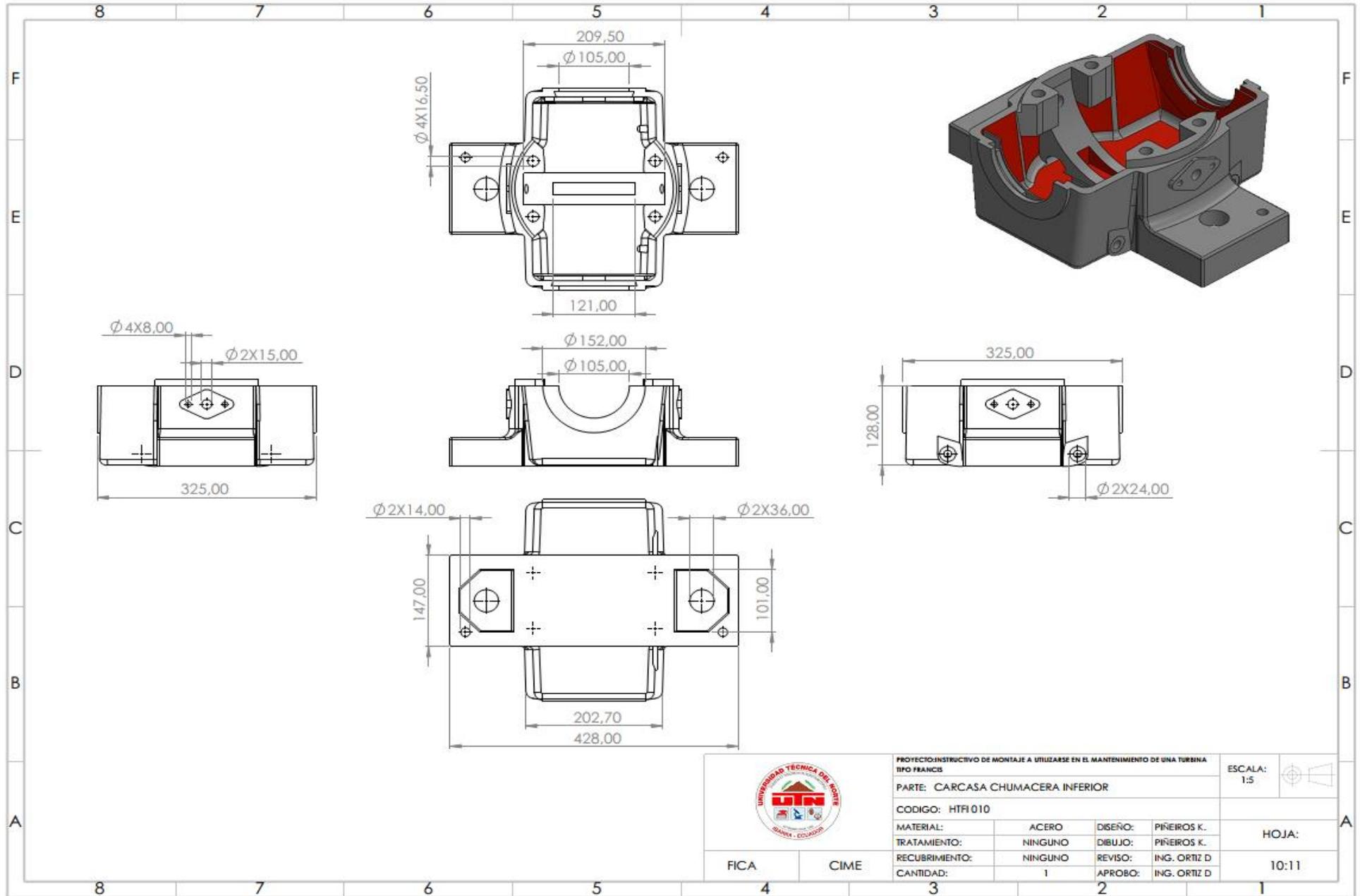
	PROYECTO: INSTRUCTIVO DE MONTAJE A UTILIZARSE EN EL MANTENIMIENTO DE UNA TURBINA TIPO FRANCIS			ESCALA: 1:4	
	PARTE: CHUMACERA INFERIOR				TOLERANCIA: +0.12 H10
	CODIGO: HTFI 008				
	MATERIAL:	ACERO	DISEÑO:	PIÑEROS K.	
	TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJO:	PIÑEROS K.	HOJA:
RECUBRIMIENTO:	NINGUNO	REVISO:	ING. ORTIZ D	8:11	
CANTIDAD:	1	APROBO:	ING. ORTIZ D		
FICA	CIME	4	3	2	1



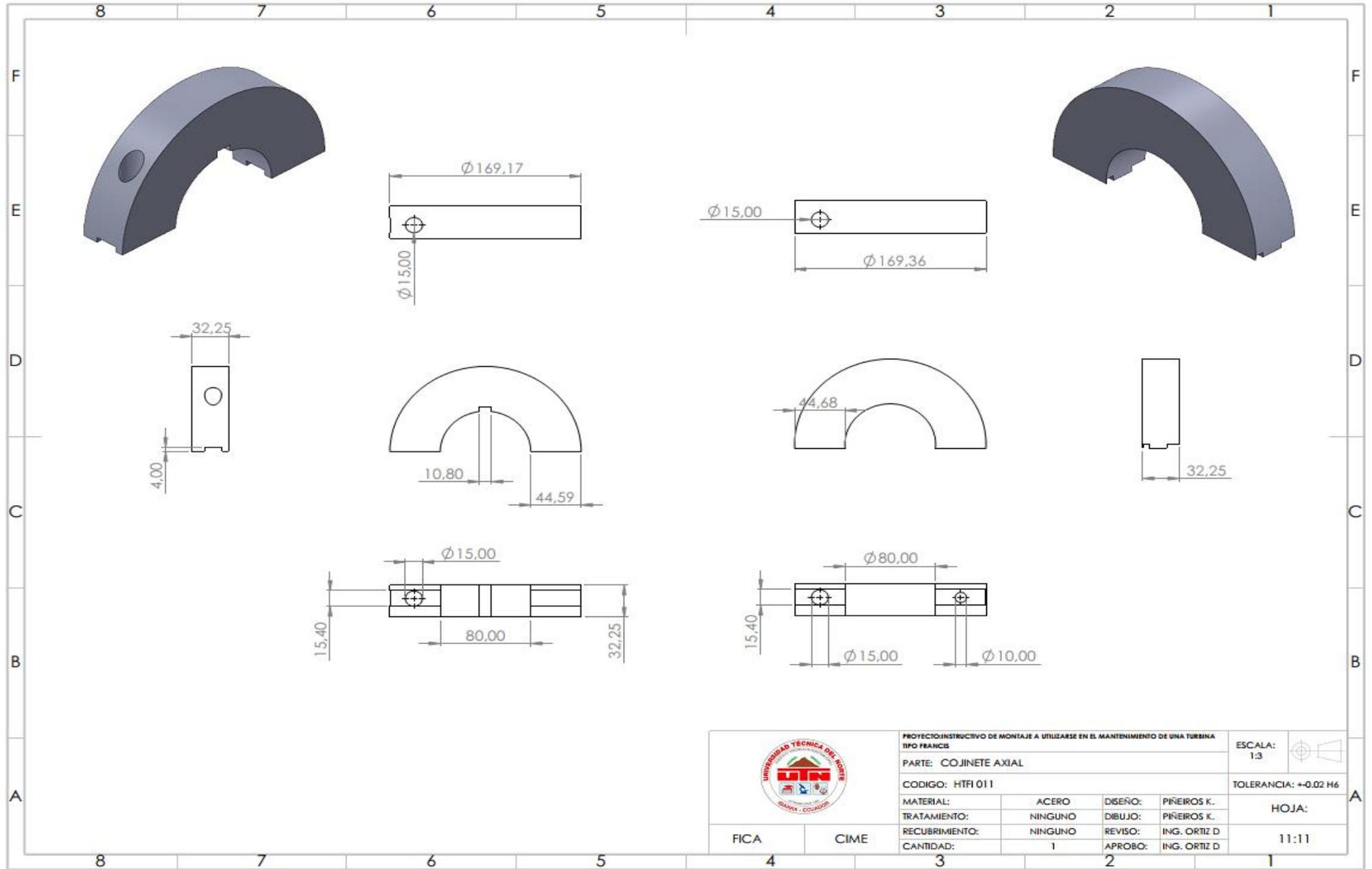
	PROYECTO: INSTRUCTIVO DE MONTAJE A UTILIZARSE EN EL MANTENIMIENTO DE UNA TURBINA TIPO FRANCIS			ESCALA: 1:5		
	PARTE: CHUMACERA SUPERIOR					
	CODIGO: HTFI 009			HOJA: 9:11		
	MATERIAL:	ACERO	DISEÑO:			PIÑEROS K.
	TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJO:			PIÑEROS K.
RECUBRIMIENTO:	NINGUNO	REVISO:	ING. ORTIZ D	HOJA: 9:11		
CANTIDAD:	1	APROBO:	ING. ORTIZ D			

FICA

CIME



	PROYECTO: INSTRUCTIVO DE MONTAJE A UTILIZARSE EN EL MANTENIMIENTO DE UNA TURBINA TIPO FRANCIS PARTE: CARCASA CHUMACERA INFERIOR CODIGO: HTFI 010			ESCALA: 1:5
	MATERIAL: ACERO TRATAMIENTO: NINGUNO RECUBRIMIENTO: NINGUNO CANTIDAD: 1	DISEÑO: PIÑEROS K. DIBUJO: PIÑEROS K. REVISO: ING. ORTIZ D. APROBO: ING. ORTIZ D.	HOJA: 10:11	
FICA	CIME			



		PROYECTO INSTRUCTIVO DE MONTAJE A UTILIZARSE EN EL MANTENIMIENTO DE UNA TURBINA TIPO FRANCIS		ESCALA: 1:3
		PARTE: COJINETE AXIAL		
CODIGO: HTFI 011		TOLERANCIA: $\pm 0.02 H6$		HOJA:
MATERIAL:	ACERO	DISEÑO:	PIÑEROS K.	11:11
TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJO:	PIÑEROS K.	
RECUBRIMIENTO:	NINGUNO	REVISO:	ING. ORTIZ D	
CANTIDAD:	1	APROBO:	ING. ORTIZ D	
FICA	CIME			