

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE

INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

TEMA:

**“MODELO TRIDIMENSIONAL DE UNA TURBINA HIDROELÉCTRICA PARA
CAPACITACIÓN”**

AUTOR

CASIERRA MINDA JONATHAN ALEX

DIRECTOR

ING. VICTOR ERAZO

IBARRA – ECUADOR

2022

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

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

1. 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 DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	080458504-0		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Casierra Minda Jonathan Alex		
DIRECCIÓN:	Ibarra, calle Juana Atabalipa y Zenon Villacis		
EMAIL:	jacasierram@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	062 725 025	Teléfono móvil	0983257591

Datos de Obra	
TÍTULO	MODELO TRIDIMENSIONAL DE UNA TURBINA HIDROELÉCTRICA PARA CAPACITACIÓN
AUTOR (ES)	Casierra Minda Jonathan Alex
FECHA: DD/MM/AAAA	1 de noviembre del 2022
SOLO PARA TRABAJO DE GRADO	
PROGRAMA	Pregrado
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en mecánica
ASESOR/DIRECTOR	Ing. Víctor Erazo

CONSTANCIAS

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

Ibarra, al día 1 del mes de noviembre del 2022



.....
Jonathan Alex Casierra Minda

0804585040

CERTIFICACIÓN

En calidad de tutor del trabajo de grado titulado: "Modelo tridimensional de una turbina hidroeléctrica para capacitación", certifico que el presente trabajo fue desarrollado por el señor Casierra Minda Jonathan Alex, bajo mi supervisión.



Ing. Víctor Erazo MSc.

Ing. Víctor Erazo. MSc.
DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

Agradezco a todas las personas que me acompañaron durante este largo camino.

Alex Minda

DEDICATORIA

Este logro se lo dedico a mis padres y hago la promesa de que será el primero de muchos.

Alex Minda

RESUMEN

A causa del ajustado presupuesto que cuentan las pequeñas centrales hidroeléctricas en el Ecuador y a la dificultad de realizar las tareas de mantenimiento debido a la complejidad de diseño de la turbina, el presente trabajo muestra el modelo 3D de una turbina hidroeléctrica de baja potencia.

En el marco teórico se describe la información que justifica el uso de una turbina Francis tipo horizontal de 470 kW en la central hidroeléctrica Hydrocarolina, posteriormente se determinan las principales partes que comprenden a la turbina que consecuentemente permite realizar el levantamiento de planos para la realización del modelamiento CAD.

Mediante el modelamiento CAD se desarrolla la propuesta de montaje, considerando parámetros mínimos como dimensiones, holgura y ajuste entre los elementos, obtenidos a partir de la información proporcionada por la central. Además, de que se propone el uso de protocolos para el registro de información referente a la alineación y concentricidad de las partes de la turbina.

Con la obtención del modelo CAD, planos mecánicos y la propuesta de montaje se desarrolló la simulación del proceso de desmontaje de las principales partes de la turbina.

ABSTRACT

Due to the tight budget of small hydroelectric plants at Ecuador and the difficulty of carrying out maintenance tasks due to the complexity of the turbine design, this work shows the 3D model of a low-power hydroelectric turbine.

In the theoretical framework, the information that justifies the use of a 470 kW horizontal Francis turbine in “Planta Hidroeléctrica Carolina” is described, then the main parts that comprise the turbine are determined, which consequently allows the drawing of plans for the realization of CAD modeling.

Through CAD modeling, the assembly proposal is developed, considering minimum parameters such as dimensions, clearance and adjustment between the elements, obtained from the information provided by the control panel. In addition, it is proposed to use protocols for the recording of information regarding the leveling, alignment and concentricity of the turbine parts.

With the obtaining of the CAD model, mechanical drawings and the assembly proposal, the simulation of the disassembly process of the main parts of the turbine was developed.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO	V
DEDICATORIA	VI
RESUMEN	VII
ABSTRACT	VIII
ÍNDICE GENERAL	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	X
ÍNDICE DE TABLAS	XIV
ÍNDICE DE ANEXOS	XV
GLOSARIO	XVI
INTRODUCCIÓN	1
Planteamiento del Problema	1
Objetivo General	2
Objetivos Específicos	2
Justificación	2
Alcance	3
Contexto	4
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO	6
1.1. Producción Energética	6
1.2. Aprovechamientos Hidroeléctricos	6
1.2.1. Tipos de Aprovechamientos Hidroeléctrico	6

1.3. Obras Civiles	8
1.3.1. Bocatoma	9
1.3.2. Desarenador	9
1.3.3. Cámara de Carga	9
1.3.4. Casa de Máquinas	10
1.4. Equipo Electromecánico	10
1.4.1. Válvula de Ingreso	10
1.4.2. Turbinas Hidráulicas	11
1.4.3. Sistema de Transmisión	15
1.4.4. Generador Eléctrico	16
1.4.5. Tablero de Control	16
1.6. Mantenimiento	18
1.6.1. Tipos de Mantenimiento	18
1.7. Central Hidroeléctrica Hidrocarolina.....	19
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	21
2.1. Revisión Bibliográfica.....	21
2.2. Toma de medidas	21
2.2.1. Tolerancia.....	21
2.2.2. Ajuste	23
2.2.3. Holgura.....	23
2.2. Levantamiento de Planos.....	24
2.3. Modelación 3D de los Elementos	24

2.4. Proceso de Montaje	24
2.4.1. Secuencias para Apriete de Pernos	24
2.4.2. Niveles de Aprietes en el Montaje.	25
2.4.3. Protocolos en el Montaje y Desmontaje.	25
2.5. Especificaciones para el Montaje	26
CAPÍTULO III. RESULTADOS	27
Bibliografía	44
ANEXOS	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Aprovechamiento en derivación [3].	¡Error! Marcador no definido.
Figura 2. Aprovechamiento en regulación [4].	7
Figura 3 Aprovechamiento reversible [4].	8
Figura 4 Obras civiles de una pequeña central hidroeléctrica [4].	9
Figura 5 Elementos involucrados en la generación eléctrica [7].	10
Figura 6. Turbina Francis (izq), Kaplan (c) y Pelton (der) [8] [9].	11
Figura 7. Partes principales de una turbina Pelton.	13
Figura 8. Rodete Pelton.	13
Figura 9. Partes Principales de una turbina Francis [11].	14
Figura 10 Rodete Francis [11].	14
Figura 11 Grupo generador con turbina tipo Kaplan [13].	15
Figura 12. Secuencias para aprietes de pernos [25].	25
Figura 13. Especificaciones para el montaje del Grupo Generador.	26
Figura 14. Base inferior	27
Figura 15. Pedestal de cojinete de empuje.	27
Figura 16. Lado de la turbina y generador del grupo generador.	27
Figura 17. Nivelación del pedestal de cojinete de empuje respecto al conjunto.	27
Figura 18. Nivel al que se debe encontrar el pedestal de cojinete de empuje respecto al conjunto.	28
Figura 19. Elementos de sujeción en el pedestal de cojinete de empuje.	28
Figura 20. Base inferior	28
Figura 21. Pedestal de cojinete guía.	28
Figura 22. Lado de la turbina y generador del grupo generador.	28
Figura 23. Nivelación del pedestal de cojinete guía respecto al conjunto.	29

Figura 24. Nivel al que se debe encontrar el pedestal de cojinete guía respecto al conjunto. .29

Figura 25. Elementos de sujeción en el pedestal de cojinete guía.29

Figura 26. Diámetro interno del anillo lado opuesto a la succión de la carcasa espiral.29

Figura 27. Escudo posterior.29

Figura 28. Vista lateral del escudo posterior.29

Figura 29. Espárragos situados a lo largo del anillo de la carcasa espiral en el lado del generador.....30

Figura 30. Movilización del escudo posterior.....30

Figura 31. Elementos involucrados en la sujeción del escudo posterior.30

Figura 32. Parte del alabe directriz.30

Figura 33. Escudo anterior.....31

Figura 34. Vista trasera del escudo anterior.....31

Figura 35. Vista trasera del escudo posterior.....31

Figura 36. Parte del alabe directriz.31

Figura 37. Inserción de rodamientos deslizantes en el escudo anterior.31

Figura 38. Inserción de rodamientos deslizantes en el escudo posterior.32

Figura 39. Diámetro interno del anillo de la carcasa espiral de lado del tubo de evacuación. 32

Figura 40. Vista lateral del escudo anterior.32

Figura 41. Espárragos situados a lo largo del anillo de la carcasa espiral en el lado del tubo de evacuación.....32

Figura 42. Montaje de los alabes directrices.....32

Figura 43. Montaje del escudo anterior.33

Figura 44. Sujeción del escudo anterior.....33

Figura 45. Alabe directriz.33

Figura 46. Medición de holguras de la guía respecto al escudo posterior e inferior.33

Figura 47. Montaje de anillo de control en el escudo posterior.	33
Figura 48. Montaje de las placas para la sujeción del anillo de control.	34
Figura 49. Secuencia para apriete de las placas de sujeción.	34
Figura 50. Tapas de cierre de alabes móviles.	34
Figura 51. Biela.	34
Figura 52. Montaje de bieleta.	35
Figura 53. Círculo espaciador que forman las palas directrices cuando están completamente cerradas.	35
Figura 54. Círculo espaciador que forman las palas directrices cuando están completamente abiertas.	35
Figura 55. Montaje de las tapas de las bielas.	35
Figura 56. Montaje del conjunto biela-bieleta en el anillo de control.	35
Figura 57. Rodete Francis.	36
Figura 58. Áreas de los elementos que se sitúan en el eje de la turbina.	36
Figura 59. Elementos involucrados en la sujeción del rodete en el eje.	36
Figura 60. holguras existentes entre el escudo posterior y rodete.	36
Figura 61. Acople lado turbina.	37
Figura 62. Elementos involucrados en la unión de los acoples.	37
Figura 63. Separación entre acoples.	37
Figura 64. Elementos que constituyen al cojinete de empuje.	38
Figura 65. Elementos que constituyen la parte inferior del cojinete de empuje.	38
Figura 66. Pedestal del cojinete guía.	38
Figura 67. Vista I del cojinete de empuje en el pedestal.	38
Figura 68. a) Cojinete guía, b) Base superior, c) Base inferior.	38
Figura 69. Superficie donde se sitúa la tapa inferior del cojinete guía.	39

Figura 70. Montaje de la tapa inferior del cojinete guía en el pedestal.	39
Figura 71. Colocación de los anillos levantadores de aceite.	39
Figura 72. Montaje de la tapa superior del cojinete guía.	39

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Defectos en los subsistemas del grupo generador [23].	17
Tabla 2. Modos y efectos de fallas en subsistema del grupo generador [23].	17
Tabla 3. Potencia efectiva de los grupos generadores de la central Hidrocarolina.	20
Tabla 4. Datos técnicos de la turbina del Grupo 3 [26].	20
Tabla 5. Significado del código presentado en el tipo de turbina [26].	20

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Niveles de Apriete para Tornillos en Acero.....	48
Anexo 2. Herramienta para apriete de contratuerca de rodete.....	49
Anexo 3. Protocolo 1M.....	51
Anexo 4. Protocolo 2M.....	52
Anexo 5. Protocolo 3M.....	53
Anexo 6. Protocolo 4M.....	54
Anexo 7. Planos mecánicos	55

GLOSARIO

Abrasión: en mecánica, se refiere al rozamiento entre dos superficies mecánicas provocando erosión y desgaste en ellas [1].

Análisis termográfico: es la medición de la temperatura de un cuerpo mediante radiación infrarroja [2].

Aprovechamiento hidroeléctrico: es el conjunto de todas las instalaciones, civiles, mecánicas y eléctricas, empleadas para la producción de energía a partir de una fuente hídrica [3].

Bocín: elemento cilíndrico empleado para la absorción entre componentes mecánicos, además, facilita el acople o el desplazamiento de las piezas [4].

Cavitación: es la formación y explosión de burbujas dentro de las tuberías a causa de la variación de presión dentro de ella, provocando la erosión del material [1].

Cojinete de empuje: encargado de soportar las cargas axiales del eje de la turbina [5].

Cojinete guía: soporta las cargas axiales y radiales del eje de la turbina [5].

Distribuidor: controla el caudal en el interior de la carcasa espiral y por acción de sus álabes móviles distribuye, regula o corta totalmente el caudal [4].

Fuente hídrica: fuente de agua como: ríos, arroyos, lagos, embalses, etc [3].

Guaípe: masa de trozos de tela o algodón [4].

O-rings: elemento mecánico empleado para prevenir la fuga de fluidos [4].

Rodete: es uno de los elementos principales de la turbina, el cual transforma la energía del fluido en energía mecánica de rotación [4].

Salto hidráulicos: diferencia de altura entre el canal de carga y la casa de máquina [3].

INTRODUCCIÓN

Planteamiento del Problema

En Ecuador, el consumo eléctrico en 2019 fue de 25.310 GW significando un incremento en el consumo de 4,5% en comparación al 2018 con 24.213. Empleándose fuentes de energías renovables y no renovables, para solventar la creciente demanda energética [6]. Bajo este contexto, la mayor producción energética del país proviene de centrales hidroeléctricas que representan el 77% de la producción y en menor medida de centrales térmicas y de fuentes no convencionales [7]. Las centrales se comprenden entre micros centrales y centrales de grandes potencias, con una producción inferior a 1 MWh y superior a 10 MWh respectivamente [8] [9]. De modo que, se debe considerar que el costo para la producción es elevado cuando no se consideran los factores que afectan al costo nivelado de la electricidad. Estos son: costos iniciales de inversión, factor de planta y costos de operación y mantenimiento. Los costos de operación y mantenimiento representan cerca del 4% del costo de inversión por kilovatio, pero en caso de realizarse un paro de planta este causaría pérdidas monetarias mayores [10].

Las principales máquinas de una central son: la turbina y el alternado. Siendo la turbina la más propensa a fallas, debido al contacto directo con el flujo de la corriente de agua, el cual le provoca fallas por cavitación, erosión o fatiga. Por lo tanto, se programan planes de mantenimiento para salvaguardar la eficiencia de las máquinas, prolongar su vida útil y evitar paros de planta prolongados [11]. Independientemente del tipo de mantenimiento a ejecutarse, se realizará el desmontaje parcial o total de la máquina. Por lo que es imprescindible contar con personas capaces de efectuar esta actividad. Ya que montaje está constituido por tareas de alineación, nivelación y controles en las tolerancias de acople de cada elemento de las máquinas [12].

Las centrales que se posicionan por debajo de la categoría de pequeña central cuentan con un presupuesto ajustado, impidiendo la contratación de personal especializado por lo que recurren a la contratación y posteriormente a la capacitación de personas que cuenten con un alto nivel de experiencia práctica, pero con un limitado nivel de instrucción académica. Esto dificulta las tareas de mantenimiento debido a que el personal se enfrenta a un diseño complejo de turbina, siendo necesario la interpretación de planos para poder efectuarlas. Pero debido a la antigüedad de la máquina es incierto tenerlos [9] [13].

Con lo mencionado, las centrales se ven en la necesidad de elaborar herramientas de capacitación que brinden una orientación eficaz al personal de trabajo. Para este propósito se desea realizar una animación 3D de una turbina hidroeléctrica que permita familiarizar al personal con la máquina.

Objetivo General

Desarrollar un modelo tridimensional de una turbina hidroeléctrica para capacitación dentro de pequeñas centrales hidroeléctricas haciendo uso de un software CAD.

Objetivos Específicos

- Determinar características técnicas e historial de mantenimiento de la turbina de la central hidroeléctrica Hidrocarolina.
- Modelar las principales partes de la turbina seleccionada, en función de la información existente.
- Simular el ensamble en base al modelo realizado.

Justificación

Las centrales hidroeléctricas que se posicionan por debajo de la categoría de pequeña central no cuentan con los recursos suficientes para contratar personal de mantenimiento especializado. Estas, recurren a la contratación y posteriormente capacitación de personas con

un alto perfil practico en el manejo de máquinas, pero con una baja instrucción académica. La capacitación no es suficiente para que puedan solventar todas las fallas que se presentan en las máquinas, especialmente en las de la turbina. Por lo que, solo se centran en actividades básicas, tales como la lubricación periódica, revisiones sistemáticas de los equipos, calibración de instrumentos, entre otras [9].

A menudo, el personal desconoce el funcionamiento y el modo de ensamble de cada elemento de la turbina. Esto se debe a que la turbina presenta un diseño de ensamblaje complejo, siendo necesario el uso de planos para efectuar el montaje. Una actividad que es difícil de realizar debido a la escasez de planos e incorrecta interpretación de estos por parte del personal de mantenimiento [13].

El presente proyecto es viable, porque se dispone de herramientas suficientes para realizar el levantamiento de plano de cada uno de los elementos de la turbina, así como de software de diseño mecánico que permitirán realizar la animación 3D del proceso de ensamblaje de esta, y de fuentes de información que servirán como guía para llevarla a cabo.

Finalmente, la animación 3D del montaje de turbina, y el levantamiento de planos de esta, busca familiarizar al personal con los elementos y método de ensamble de la turbina, así como el de ampliar las actividades de mantenimiento que se realizan, reduciendo así la necesidad de la central en recurrir a la contratación de personal especializado.

Alcance

Se desarrollará el presente trabajo de grado, vinculado al sector energético del país, con la finalidad de elaborar un modelo tridimensional de una turbina hidroeléctrica para la capacitación del personal de mantenimiento de pequeñas centrales hidroeléctricas. El modelo se realizará empleando un software CAD.

El trabajo incluirá los planos mecánicos de la turbina bajo norma ISO, el modelado 3D y simulación del ensamble de la turbina. Además de esto, se entregará un manual instructivo, en donde se especificará la manera de interactuar con el modelo.

Es necesario que el personal tenga acceso al modelo, por lo cual deberá capacitarse en el software que permita la visualización del CAD.

Se utilizarán la información de la turbina proporcionada por el fabricante y se irá verificando las principales medidas y elaborando los planos CAD para la simulación 3D.

Contexto

Con las constantes invenciones tecnológicas se puede cuantificar el efecto que tendrá una decisión sobre una actividad que involucre el proceso de trabajo dentro de una empresa, proceso que debe de ser constante. Desarrollándose herramientas que agilicen las actividades y permitan efectuarlas de la mejor manera. Con lo mencionado, muchos autores han desarrollado proyectos que a sus consideraciones incrementaran el desenvolvimiento en el desarrollo de actividades.

Marcos De Sousa, Manoel Ribeiro y su equipo, en su trabajo A 3D Learning Tool for a Hydroelectric Unit desarrollaron un sistema mediante técnicas de realidad virtual de escritorio que ofrece la posibilidad de comprender la relación entre las estructuras físicas de una unidad hidroeléctrica, el procedimiento de mantenimiento, la visualización del funcionamiento, entre otras funciones. Todo a través de simulaciones por computadora, salidas gráficas y animaciones.

Chibing Gong en su trabajo Instructional design and application of hydraulic turbine based on mixed reality hololens 2, desarrolla un modelo 3D de una turbina tubular de tipo bulbo a base de realidad mixta que permite interactuar con la estructura interna, así como realizar el

montaje y desmontaje de elementos que la conforman, mejorando la instrucción de cursos al personal de operación y mantenimiento.

Alcide Junior, Manoel Filho y su equipo, en su trabajo *A virtual reality system for hydroelectric generating unit maintenance training and understanding*, presentaron la concepción, diseño y un prototipo de un sistema de realidad virtual para la formación de aprendizaje y mantenimiento de la unidad generadora hidroeléctrica. El sistema adopta una arquitectura modular que lo hace expansivo y flexible para otras áreas de formación de montaje, permitiendo la familiaridad con la estructura y las piezas constitutivas de la unidad., así como su información general y técnica.

Ortiz Basantes y Pilatuña Lorena en su trabajo *Diseño de una planta virtual de trituración de piedra caliza*, propuesta de un plan de mantenimiento preventivo, desarrollaron una herramienta didáctica para la enseñanza del mantenimiento y funcionamiento de una planta de trituración de piedra caliza, estimando que con el uso conjunto de la planta virtual y un plan de mantenimiento se incrementa del 12% al 89% el grado de conocimiento de los estudiantes.

Chen Yitao y Li Zhaohui en su trabajo *Digitized modeling method in maintenance field of hydroelectric generation unit*, desarrollaron un método de modelamiento 3D y de redes graficas que permite predecir el efecto que tendrá la unidad de generación hidroeléctrica al modificar los programas de mantenimientos según las condiciones de operación o producción.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

1.1. Producción Energética

Las centrales hidroeléctricas transforman en electricidad la energía cinética del flujo del agua. El caudal aprovechado de la fuente hídrica es conducido a través de un canal y tubería hasta la casa de máquinas aprovechando los desniveles de la zona. En su trayectoria, el flujo adquiere energía potencial a causa del salto existente entre la cámara de carga y casa de máquinas. De la cámara de carga hacia la turbina ubicada en la casa de máquinas, el agua es conducida por una tubería forzada transformando la energía potencial en cinética del agua logrando así el giro del rodete de la turbina que al acoplarse a un generador y en base a los principios de electromagnetismo obtenemos la electricidad [14].

1.2. Aprovechamientos Hidroeléctricos

Son las obras civiles e hidráulicas necesarias para la conducción del caudal de agua hacia la casa de máquinas.

Los tipos de aprovechamientos con mayor presencia en las pequeñas centrales hidroeléctricas son: en derivación, en regulación y reversible.

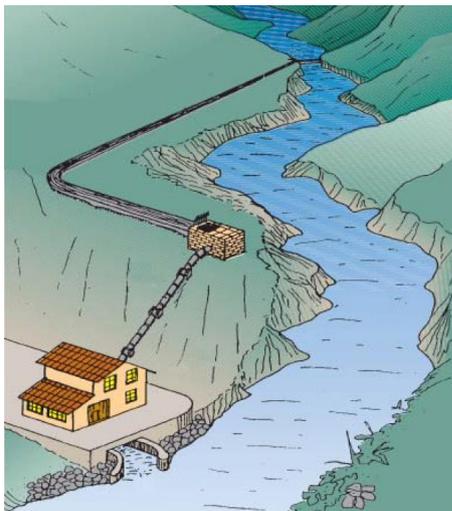
1.2.1. Tipos de Aprovechamientos Hidroeléctrico

- **En derivación**

Como se observa en la Figura 1, este tipo de aprovechamiento se caracteriza por derivar parte de un caudal de una fuente hídrica, conduciéndolo hacia la cámara de carga por medio de un canal descubierto. No cuenta con un embalse, por lo que turbinas el agua disponible en el momento.

Figura 1

Aprovechamiento en derivación [15].

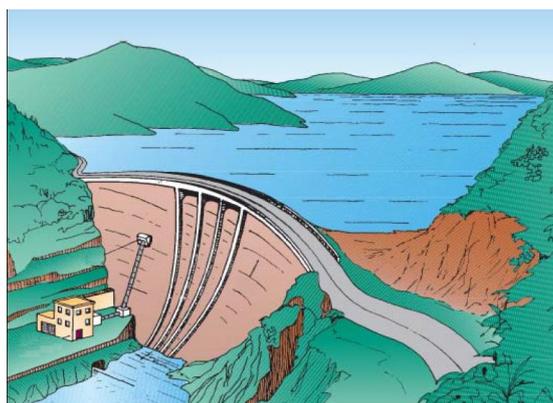


- **En regulación**

En la Figura 2 se observa que este tipo de aprovechamiento se caracteriza por disponer de un reservorio que permite regular el caudal que pasa por la turbina. El reservorio cumple la función de almacenamiento del agua para la regulación de caudal de consumo.

Figura 2

Aprovechamiento en regulación [16].

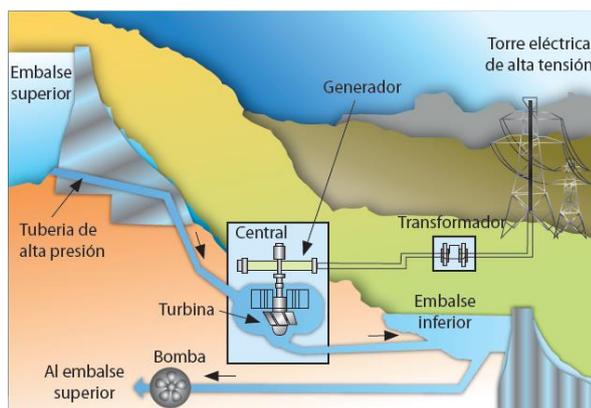


- **Reversible**

Se observa en la Figura 3 que este tipo de aprovechamiento consta de dos embalses a distintos niveles que permiten la reutilización del agua, denominados embalse superior e inferior. Estos se encuentran conectados entre sí por medio de una tubería forzada. Este tipo de aprovechamiento trabaja como una central convencional en horas de alta demanda eléctrica, turbinando el agua disponible en el embalse superior y en horas de baja demanda el agua acumulada en el embalse inferior es restituida al superior por medio de bombas [17] [18].

Figura 3

Aprovechamiento reversible [16].

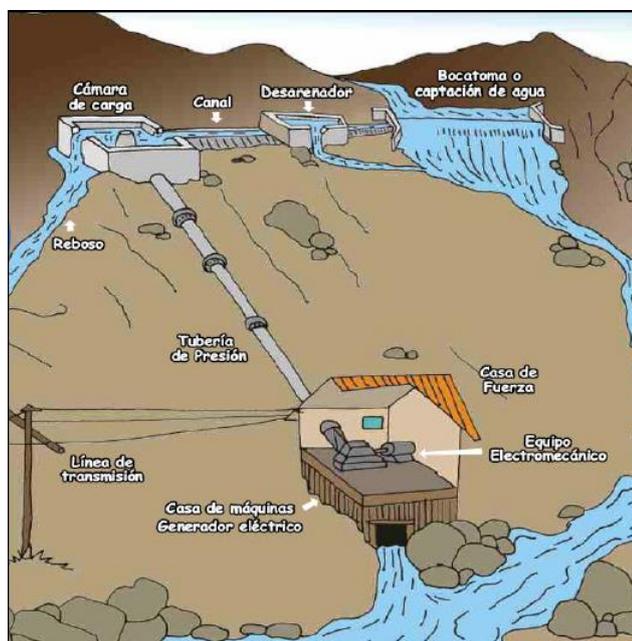


1.3. Obras Civiles

Son las construcciones que permiten el transporte del agua desde su ingreso hasta la turbina. En la Figura 4 se observan las principales obras civiles de una central [16].

Figura 4

Obras civiles de una pequeña central hidroeléctrica [16].



1.3.1. Bocatoma

Es la obra destinada a captar parte del caudal de agua de la fuente hídrica, conduciéndolo a hacia el desarenador, y que guía al caudal por el canal de conducción que pasando en su primera fase al desarenador [18].

1.3.2. Desarenador

Es un depósito destinado a la retención de materiales sólidos y flotantes que están presentes en el agua evitando el desgaste principalmente de los elementos principales de la turbina [19]. El agua del desarenador en mejores condiciones es conducida posteriormente por un canal o tubería hacia la cámara de carga.

1.3.3. Cámara de Carga

Es un depósito situado al final del canal de conducción que permite mantener una presión de caída de agua en la tubería forzada. Este último, es un conducto destinado a la

conducción del agua hacia la turbina. Cuando la cámara se encuentra en su nivel máximo permite mantener una presión constante [19].

1.3.4. Casa de Máquinas

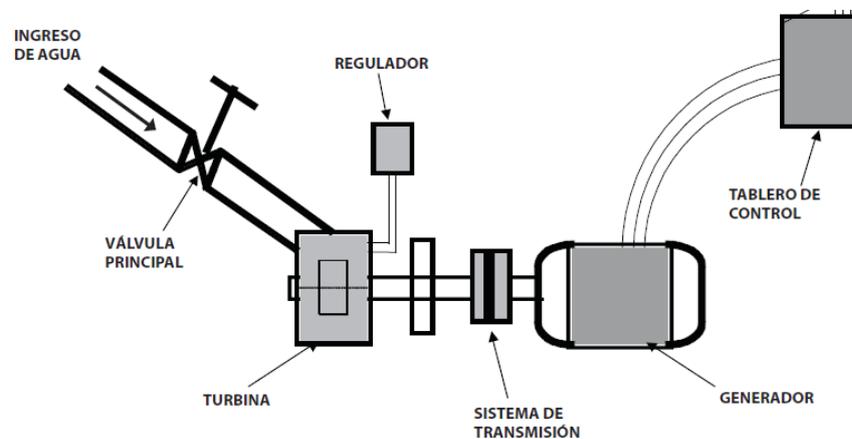
Es la construcción donde se alojan los grupos generadores, elementos de regulación y control. Cada grupo es conformado por una turbina y un generador unidos entre sí por medio de un eje. Además, cuenta con un canal de descarga que restituye el flujo a la cuenca hídrica [18] [19].

1.4. Equipo Electromecánico

Son todos los equipos que intervienen en el proceso de generación de electricidad. En la Figura 5 se muestran los equipos principales [19].

Figura 5

Elementos involucrados en la generación eléctrica [19].



1.4.1. Válvula de Ingreso

Es un mecanismo de obturación que controla el flujo del agua desde la tubería forzada hacia la turbina [19].

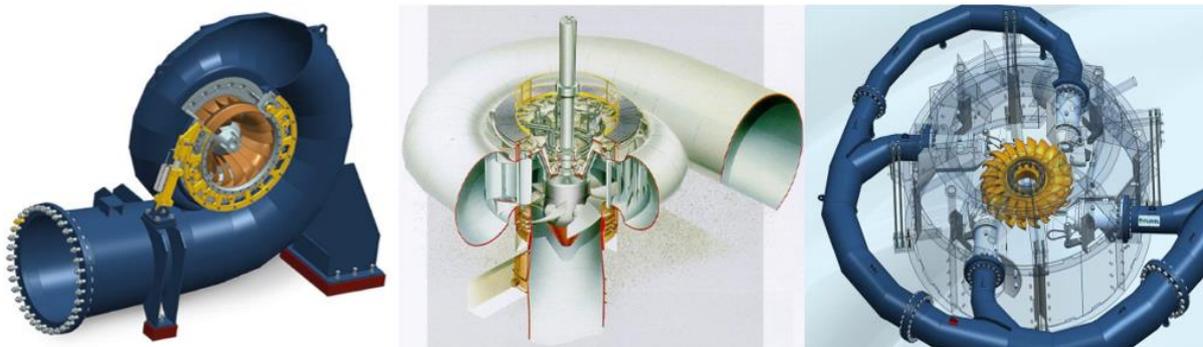
1.4.2. Turbinas Hidráulicas

Son máquinas que transforman el flujo del agua en energía mecánica de rotación. En la Figura 6 se muestran los tipos de turbinas que son mayormente empleadas. Estas se clasifican en dos grupos: turbinas de acción y de reacción, las cuales se seleccionan a partir del tamaño del caudal y de la altura del salto hidráulico [19].

Dependiendo del tipo de turbina estas pueden encontrarse conformada por los elementos indicados en la Figura 7, Figura 9 y Figura 11. Esos elementos son: carcasa, rodete, eje, distribuidor y mecanismo de regulación y control [19].

Figura 6

Turbina Francis (izq), Kaplan (c) y Pelton (der) [20] [21].



1.4.2.1. Clasificación de las Turbinas.

- **Turbinas de acción**

Son aquellas turbinas en las cuales la presión permanece constante en la entrada y salida del rodete. Esto se consigue, mediante chorros de agua que son proyectados a gran velocidad contra los alabes del rodete. La proyección se la realiza por medio de inyectores [22].

- **Turbinas de reacción**

Son aquellas turbinas en las que la presión disminuye entre la entrada y salida del rodete. Esto es debido a que la presión del agua actúa directamente sobre los álabes del rodete, disminuyendo la presión a medida que avanza su recorrido por la carcasa [22].

1.4.2.2. Tipos de Turbinas

- **Turbina Pelton**

Es una turbina de acción cuya aplicación está dada para saltos de 20 a 100 metros. Este tipo de turbina permite turbinar desde el 10% del caudal nominal y sus rendimientos llegan a ser máximo de 92% [17].

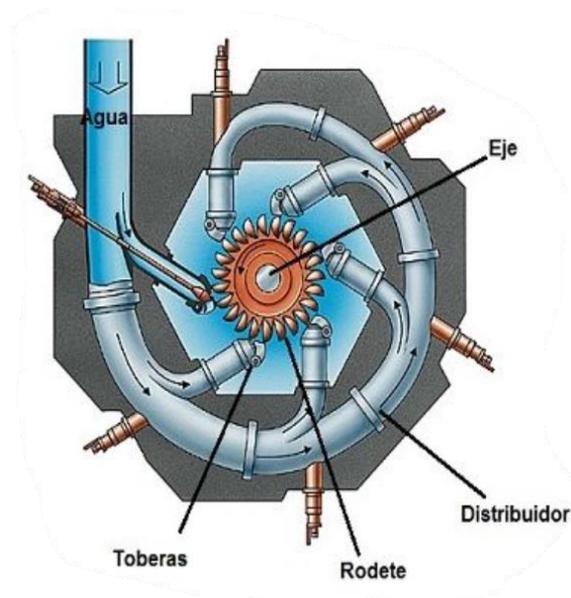
La Figura 7 muestra las partes principales de una turbina tipo Pelton, de las cuales destacan: el distribuidor y el rodete.

El distribuidor está formado por inyectoros colocados alrededor de la circunferencia del rodete. Los cuales se encargan de regular el flujo del chorro de agua. El número de inyectoros dependerá de la potencia y características del grupo generador. Estos constan de toberas de sección circular, instaladas en la terminación de las ramificaciones del distribuidor, que proyectan y dirigen el chorro hacia el rodete [19] [22].

La Figura 8 muestra al rodete Pelton el cual consta de una serie de alabes montados a lo largo de su circunferencia que reciben el chorro del agua de los inyectoros produciendo su rotación [23].

Figura 7

Partes principales de una turbina Pelton.

**Figura 8**

Rodete Pelton



- **Turbina Francis**

Es una turbina de reacción cuya aplicación está dada para saltos de 4 a 300 metros con caudales de 1 a 500 m³/s. Este tipo de turbina es capaz de operar con rendimientos superiores al 90% [17].

En la Figura 10 se observan las partes que constituyen a una turbina Francis de los cuales destacan el distribuidor y el rodete.

El distribuidor contrala el caudal en el interior de la carcasa espiral y por acción de sus álabes móviles distribuye, regula o corta totalmente el caudal que fluye hacia los alabes fijos del rodete, haciéndolo girar [19] [22]

La Figura 10 muestra al rodete el cual está conformado por una serie de álabes fijos alrededor de su circunferencia. Sus dimensiones, la longitud e inclinación de los alabes están dadas por el consumo del caudal, longitud y cabezal de salto [23].

Figura 9

Partes Principales de una turbina Francis [24].

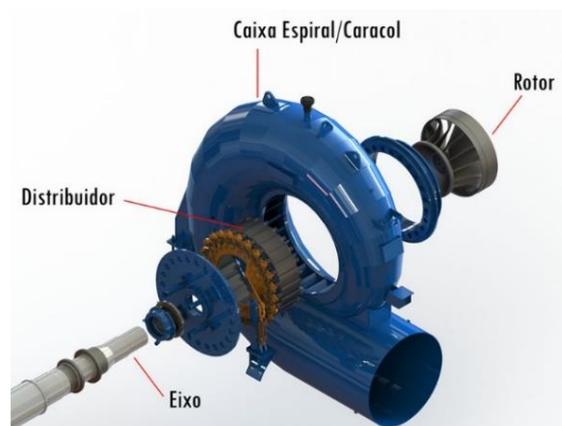


Figura 10

Rodete Francis [24].



- **Turbina Kaplan**

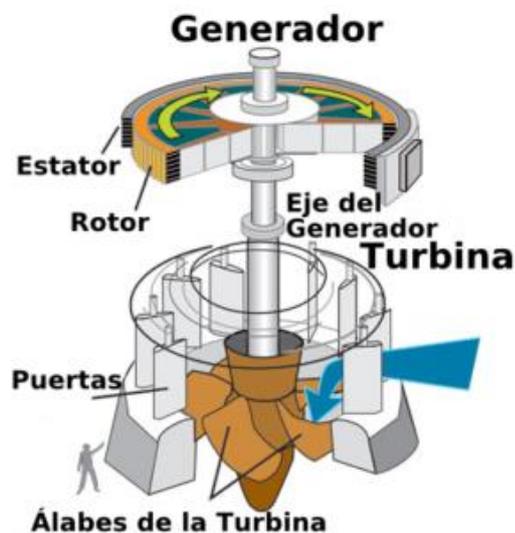
Es una turbina de reacción, cuya aplicación está dada para saltos de 1 a 30 metros con caudales de 0.3 a 100 m³/s. Este tipo de turbinas son capaces de operar con rendimientos de hasta el 93% [17].

Las partes que la constituyen son las mismas que las de la turbina Francis, diferenciándose en el diseño del rodete, el cual se muestra en la Figura 11, y en que puede constar de una carcasa espiral o ser instalada directamente en un pozo [19] [22].

Los álabes del rodete son regulables, mientras que los álabes directrices pueden ser fijos o regulables [23].

Figura 11

Grupo generador con turbina tipo Kaplan [25].



1.4.3. Sistema de Transmisión

Es el sistema de acoplamiento para la transmisión de movimiento y potencia mecánica entre la turbina y el generador [19] [26].

1.4.4. *Generador Eléctrico*

Es una maquina eléctrica que convierte la energía mecánica de rotación de la turbina en energía eléctrica. Los más comunes en las pequeñas centrales son: Generador sincrónico y asíncronos [19].

1.4.5. *Tablero de Control*

Es una herramienta gerencial en la que se encuentran una serie de instrumentos de medición, mando, señalización y protección, que sirven para controlar la marcha del grupo generador [26].

1.5. Fallas en Grupos Generadores

La falla es el estado de la pieza en la cual alguna de sus características no corresponde a la especificada originalmente, afectando a su capacidad de trabajo.

Con lo anteriormente mencionado, el defecto es el estado inicial de la falla, que de acuerdo con su tipo provoca la aparición de cambios de dimensiones, formas, superficies o propiedades del material de la pieza. Entre los tipos más comunes se tiene: fisuras, corrosión, cavitación, deformación, conicidad, desgaste, etc. [27] [28].

A pesar de que un pequeño grupo generador cuenta con un limitado número de elementos, estos pueden presentar distintos tipos de defectos que afectan su funcionamiento y disminuyen su vida útil. Los elementos más propensos a fallas, sus funciones, modos y efectos de falla se muestran en la Tabla 1 y Tabla 2 [27].

Tabla 1*Defectos en los subsistemas del grupo generador [23].*

Subsistema	Componente	Función	Defecto
Turbina	Carcasa espiral	Distribuye el flujo de agua en toda la periferia del rodete.	Cavitación, erosión abrasiva y corrosión.
	Rodete	Impulsa el fluido hacia sus alabes, transformando la energía cinética del agua en energía mecánica de rotación.	Cavitación y abrasión.
	Alabes directrices	Regulan el flujo de agua hacia los rodetes	Cavitación y abrasión.
Tubo de evacuación	Anillo intermedio	Disminuye la velocidad de salida del flujo de agua proveniente del rodete.	Abrasión.
	Codo de evacuación		Cavitación y abrasión.
Cojinetes	Cojinete de empuje	Soporta el eje de la turbina, permitiendo su giro con mínimas fricciones.	Abrasión
	Cojinete guía		

Tabla 2*Modos y efectos de fallas en subsistema del grupo generador [23].*

Subsistema	Componente	Modos de falla	Efecto de falla
Turbina	Rodete	Rotura y desgaste de sus alabes.	Disminución en potencia generada.
	Eje de la turbina	Mal posicionamiento del rodete.	
	Alabes directrices	Desgaste de sus bujes.	
Cojinetes	Anillo de lubricación y zapatas (dados)	Atascamiento	Baja lubricación e incremento de temperatura.
	Cojinete parte superior	Leve barrido de material.	Incremento de temperatura.
	Cojinete parte inferior	Fuerte barrido de material.	
	Pedestal	Ingreso de suciedad	Ingreso de partículas sólidas al cojinete.
		Ingreso de agua	Perdida de las propiedades del lubricante.

1.6. Mantenimiento

Son las operaciones ordenadas, planificadas y permanentes con el objetivo de mantener en óptimas condiciones los grupos generadores, asegurando su continuidad de operación.

Los tipos de mantenimiento mayormente realizados en las pequeñas centrales hidroeléctricas son los correctivos y preventivos [29].

1.6.1. Tipos de Mantenimiento

- **Mantenimiento correctivo**

Es la reparación de uno o varios equipos una vez producida la falla, ocasionando el paro de la unidad [29].

- **Mantenimiento preventivo**

Es la programación de actividades de inspección en los equipos en funcionamiento, limpieza y calibración, detectando las fallas en su fase inicial y corregirlas en el momento oportuno [29].

1.6.2. Mantenimientos en Pequeñas Centrales Hidroeléctricas

Durante la planificación del mantenimiento de los equipos de una pequeña central hidroeléctrica se deben considerar tres etapas, denominadas: documentación, preparación y ejecución.

- **Documentación**

Para una adecuada planificación es necesario contar con la documentación técnica de los equipos para considerar las recomendaciones del fabricante y que permite hacer un adecuado control del funcionamiento y acciones de mantenimiento.

Información complementaria para su análisis son: memoria con las características de la instalación, cálculos, materiales, esquemas, planos, historiales de mantenimientos, presupuestos, entre otras [29].

Los planos y los historiales de mantenimientos son imprescindibles en las actividades de mantenimiento. El primero, puede permitir la determinación y selección de herramientas y elementos necesarios para el montaje y desmontaje. El segundo, se convierte en una guía porque se describe las acciones históricas efectuadas durante la etapa de mantenimiento [29] [30].

- **Preparación**

Es la planificación de tareas y determinación de los recursos que deben de asignarse [30].

- **Ejecución**

Es la realización de todas las tareas previstas en la planificación para el cumplimiento de las actividades de mantenimiento [30].

1.7. Central Hidroeléctrica Hidrocarolina

Es una de las centrales perteneciente a la empresa Hidroimbabura. Esta cuenta con una potencia efectiva de 0,86 MW y una potencia nominal de 0,92 MW. Son tres los grupos generadores que permiten mantener estos valores. En la Tabla 1 se muestra la potencia efectiva de cada grupo y el tipo de turbina. Además, los grupos de generación emplean un sistema en derivación, la tubería forzada, a la entrada de la turbina, con una altura de caída aproximada de 40 m [31].

Tabla 3

Potencia efectiva de los grupos generadores de la central Hidrocarolina.

Nombre del Grupo	Potencia efectiva	Tipo de Turbina
Grupo 1	250 kVA	Francis
Grupo 2	200 kVA	Francis
Grupo 3	470 kVA	Francis

La turbina objeto de estudio es la perteneciente al Grupo 3, la cual trabaja con una eficiencia del 83% y presenta los siguientes datos técnicos descritos en la tabla 2. Además, la turbina es del tipo HL220-WJ-50 cuyo significado se muestra en la tabla 3 [31].

Tabla 4

Datos técnicos de la turbina del Grupo 3 [26].

Datos técnicos de la turbina	
Promedio de caudal (Q)	1.64 m ³ /s
Promedio de potencia producida (N)	533 kW
Promedio de velocidad (n)	900 r/min

Tabla 5

Significado del código presentado en el tipo de turbina [26].

Turbina tipo HL220-WJ-50	
HL	Turbina Francis
220	Código del rodete
W	Eje horizontal
J	Carcasa espiral metálica
50	Diámetro nominal del rodete, 500 mm.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Revisión Bibliográfica

Se describe la información acerca de la producción energética, las obras civiles y equipos electromecánicos involucrados en el proceso de montaje. Se analiza los tipos de turbinas empleadas en las diferentes condiciones de caudal, altura de caída de agua y ficha técnica de la turbina.

Se describen los elementos fijos y móviles que conforman a la turbina, así como las condiciones de montaje de los elementos para lograr su acople, las herramientas y equipos requeridos. Esta información es importante para describir el proceso de montaje de los principales elementos que conforman a la turbina.

2.2. Toma de medidas

Las tomas de mediciones, unidades de medidas e instrumentos de medición se encuentran relacionado con la metrología. Por lo tanto, durante el proceso de fabricación de las piezas, así como las condiciones de montaje o funcionalidad, se requiere tener los conceptos de tolerancia, ajuste y holgura [32].

2.2.1. Tolerancia

La tolerancia está relacionada con la desviación de la medida nominal en más o en menos de una pieza respecto con la medida especializada en el plano o en base a las mediciones realizadas a la pieza utilizando instrumentos de medición [32].

La tolerancia se toma en consideración cuando se envía una pieza a fabricar o reconstruir aplicando algún proceso de manufactura o recubrimiento. Del mismo modo, al recibir una pieza se verifican sus mediciones utilizando los instrumentos adecuados de medición. Por último, para que cumpla la función establecida se debe considerar las medidas

máximas y mínimas tanto del eje como del agujero, para lo cual se recurre a tablas establecidas según la norma [33].

Figura 12

Posición de la zona de tolerancia respecto a la medida nominal [32].

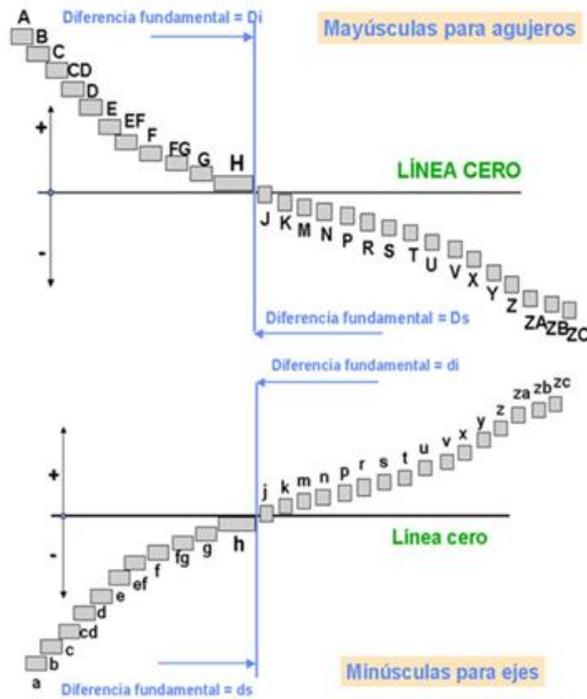


Figura 13

Valores numéricos de la calidad de tolerancia de acuerdo con la zona [32].

Grupos de diámetros (mm)	CALIDADES																	
	IT01	IT0	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16
$d \leq 3$	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

Figura 14

Cotas nominales para agujeros, en milímetros [32].

Posición	A	B	C	CD	D	E	EF	F	FG	G	H	Js
Calidad	Todas las calidades											
Diámetro	Diferencia inferior Di											
$d \leq 3$	+270	+140	+60	+34	+20	+14	+10	+6	+4	+2	0	
$3 < d \leq 6$	+270	+140	+70	+46	+30	+20	+14	+10	+6	+4	0	
$6 < d \leq 10$	+280	+150	+80	+56	+40	+25	+18	+13	+8	+5	0	
$10 < d \leq 18$	+290	+150	+95	–	+50	+32	–	+16	–	+6	0	
$18 < d \leq 30$	+300	+160	+110	–	+65	+40	–	+20	–	+7	0	
$30 < d \leq 40$	+310	+170	+120	–	+80	+50	–	+25	–	+9	0	
$40 < d \leq 50$	+320	+180	+130	–	+80	+50	–	+25	–	+9	0	
$50 < d \leq 65$	+340	+190	+140	–	+100	+60	–	+30	–	+10	0	
$65 < d \leq 80$	+360	+200	+150	–	+100	+60	–	+30	–	+10	0	

2.2.2. Ajuste

El ajuste se define como la relación entre las medidas finales del eje y agujero, la cual se representa en la siguiente tabla [33].

Figura 15

Tipos de ajuste en el montaje [33].

Tipo de ajuste	Relación entre diámetros	Desviaciones máximas y mínimas
Juego	$\phi \text{ mín}(a) > \phi \text{ máx}(e)$	J máx: $\phi \text{ máx}(a) - \phi \text{ mín}(e)$ J mín: $\phi \text{ mín}(a) - \phi \text{ máx}(e)$
Apriete	$\phi \text{ mín}(e) < \phi \text{ máx}(a)$	A máx: $\phi \text{ máx}(e) - \phi \text{ mín}(a)$ A mín: $\phi \text{ mín}(e) - \phi \text{ máx}(a)$
Indeterminado		Otra cualquiera

2.2.3. Holgura

En un sistema eje-agujero antes de entrar a funcionamiento se ha definido el tipo de apriete en función de sus tolerancias que deben constar en los planos o caso contrario se debe determinar en base a la función que desempeña.

Por las condiciones normales de funcionamiento se generan desgaste o estos se pueden acelerar si sus condiciones son alteradas desde el punto de vista mecánico.

Esta variación en las medidas que representan los elementos de máquinas que están en contacto y movimiento relativo es o que se denomina holgura [33].

2.2. Levantamiento de Planos

Se realiza el levantamiento de planos de los principales elementos que conforman a la turbina y cojinetes. Estos elementos son descritos en el apartado 1.7.1. En el proceso de levantamiento se verifican las principales medidas respecto a la información proporcionada por el fabricante.

Se obtuvo información particular de los elementos principales de la turbina, elementos de sujeción, tipo de material, sellos mecánicos, lubricantes y antiadherentes, entre los principales me permitirán un adecuado ensamble y montaje

2.3. Modelación 3D de los Elementos

El diseño asistido por computadora permite la modelación de los elementos a partir de los planos obtenidos y de la información proporcionada por el fabricante.

Para la comprensión de los planos se simula el proceso de montaje de cada elemento respecto a otro.

2.4. Proceso de Montaje

El proceso de montaje se desarrolla acorde a la información proporcionada por el fabricante. Dicha información detalla: elementos de sujeción, niveles de ajuste, holgura existente entre elementos; alineación y nivelación.

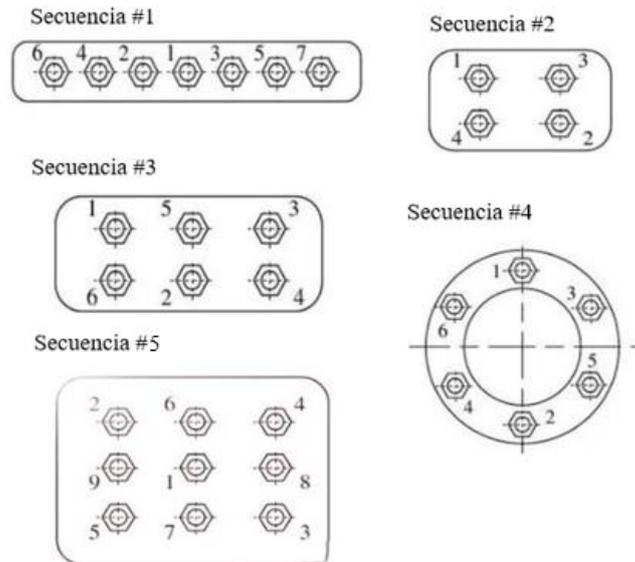
2.4.1. Secuencias para Apriete de Pernos

Al momento de efectuar el montaje de los elementos se hace necesario seguir un procedimiento para el ajuste de los pernos. Esto permite un apriete de forma simétrica y uniforme entre superficies, disminuyendo las cargas puntuales y la dispersión de carga; obteniendo un montaje técnico [34].

Las secuencias comunes para el apriete de los pernos se muestran en la Figura 12.

Figura 16

Secuencias para aprietes de pernos [34].



2.4.2. Niveles de Aprietes en el Montaje.

Durante el proceso de montaje, el torque de apriete de los pernos está especificado en los planos del fabricante, pero en caso de que no se disponga de esta información puede utilizarse la tabla constante en el Anexo 1 [35].

2.4.3. Protocolos en el Montaje y Desmontaje.

Durante el proceso de montaje y desmontaje se debe realizar una constante revisión de alineación y nivelación de los diferentes elementos del grupo generador.

La alineación consiste en:

- Verificación de concetricidad de los elementos estáticos en relación con los radios de los elementos giratorios.
- Verificación del alineamiento de los ejes de los elementos giratorios.
- Determinación de la holgura y tolerancia entre elementos estáticos y móviles.

Es de vital importancia tomar todas las referencias de intercambiabilidad de los elementos, de tal manera que quede registrado el estado actual de su montaje [36].

2.5. Especificaciones para el Montaje

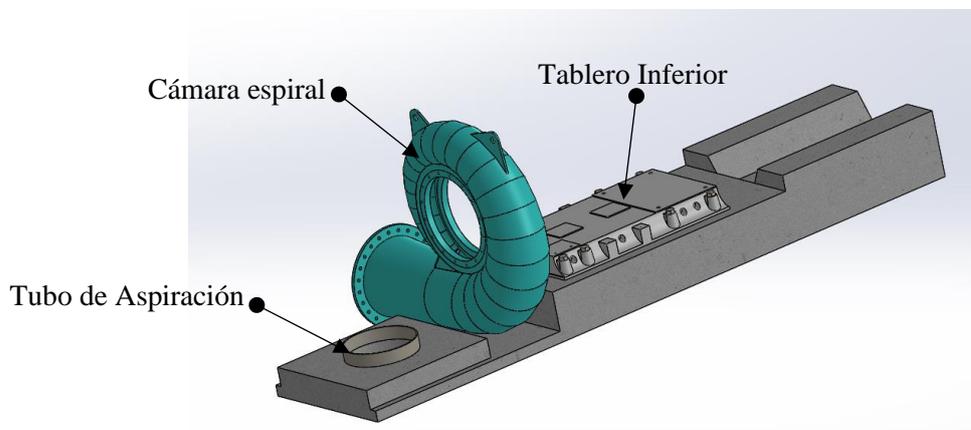
Considerando las características y elementos de la turbina expuestos en el CAPITULO I, a continuación, se presentan las especificaciones iniciales para el montaje de la turbina y cojinetes.

1. La Cámara Espiral ya se encuentra cimentada, nivelada, alineada. Se debe verificar su paralelismo y su perpendicular con respecto a su base de cimentación para descartar cualquier tipo de falla geológica a nivel del piso de la casa de máquinas.
2. El Tubo de Aspiración ya se encuentra cimentado, nivelado y alineado.
3. El tablero inferior en la que se montaran los pedestales de los cojinetes, ya se encuentra nivelado, alineado y anclado.

La Figura 17 se muestra una representación 3D de los puntos estáticos de referencia para el montaje de los elementos que conforman la turbina.

Figura 17

Especificaciones para el montaje del Grupo Generador.



CAPÍTULO III. RESULTADOS

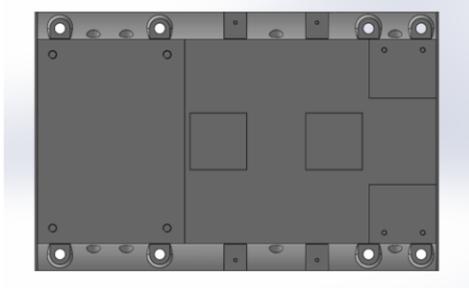
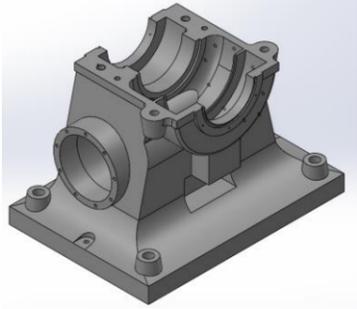
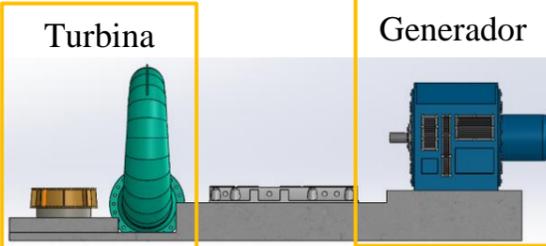
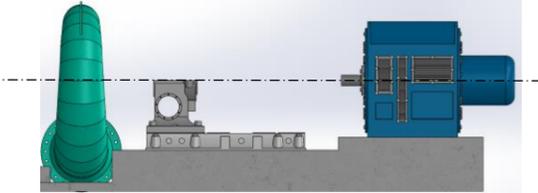
En este capítulo se muestran las etapas de montaje de los elementos que constituyen a la turbina y describen su proceso de ensamble, utilizando los planos elaborados en el presente documento.

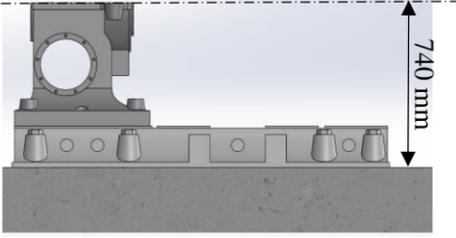
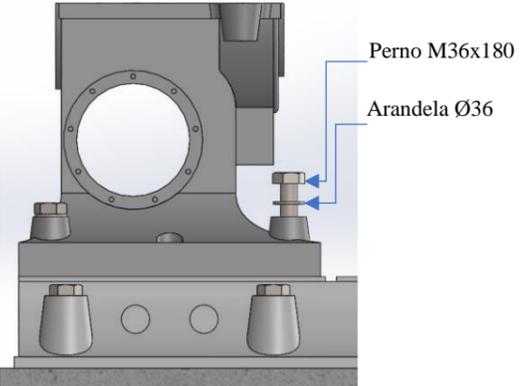
Ficha tecnológica

Equipo: Turbina

Actividad: Montaje del pedestal del cojinete de empuje.

Código: FTF-001-001-001

ITEM	DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO	EQUIPOS Y HERRAMIENTAS	PROCEDIMIENTO	OBSERVACIONES	SUBCONJUNTO
1	Limpieza	Guaípe, líquido penetrante, lija grano fino.	Limpiar la base inferior y el pedestal de cojinete.	Verificar si las áreas de contacto, tanto de la base inferior como en el pedestal del cojinete se encuentran libres de óxido.	<p>Figura 18 <i>Base inferior</i></p> 
2	Movilización	Tecla de una tonelada Estrobo de sogas manila. Comba y martillos de bola y uña. Caballete de izaje	Izar el pedestal del cojinete y situarlo en la base inferior.	El pedestal del cojinete de empuje se sitúa en la base inferior de lado de la turbina.	<p>Figura 19 <i>Pedestal de cojinete de empuje.</i></p>  <p>Figura 20 <i>Lado de la turbina y generador del grupo generador.</i></p> 
3	Nivelación	Galgas, Calibrador de pie rey, regla metálica, nivel de precisión.	Nivelar al pedestal del cojinete respecto al conjunto.	Se debe analizar si existen laminas para la nivelación de conjunto.	<p>Figura 21 <i>Nivelación del pedestal de cojinete de empuje respecto al conjunto.</i></p> 
4	Sujeción	Juego de llaves mixta hasta 42 mm. Juego de dados hasta 42 mm. Antiadherente Reloj palpador	Colocar arandelas en cada uno de los pernos. Montar los pernos en el pedestal del cojinete.	4 arandelas Ø36 4 pernos M36x180 grado 4,8	

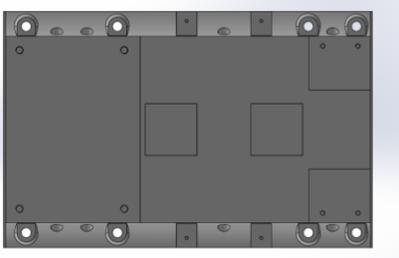
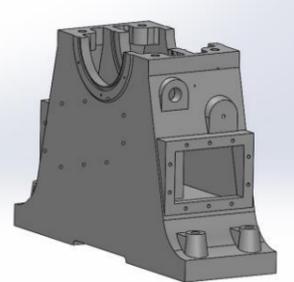
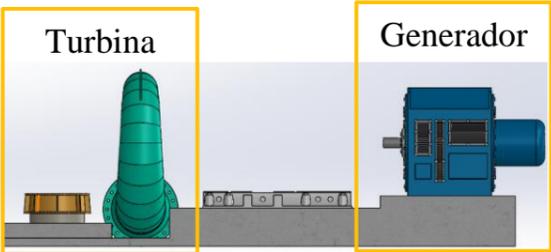
		Alzas de nivelación	Ajustar los pernos siguiendo la secuencia #2.	<p>El apriete de los pernos se lo realiza con lubricación.</p> <p>El torque para cada perno es de 869,9 N.m</p> <p>Verificar con el reloj palpador que luego del apriete si aflojamos la tuerca de sujeción el desplazamiento de la base no puede superar los 0.003 in.</p>	<p>Figura 22 Nivel al que se debe encontrar el pedestal de cojinete de empuje respecto al conjunto.</p>  <p>Figura 23. Elementos de sujeción en el pedestal de cojinete de empuje.</p> 
--	--	---------------------	---	---	--

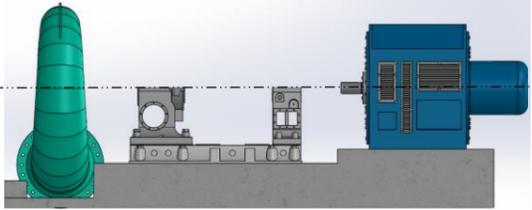
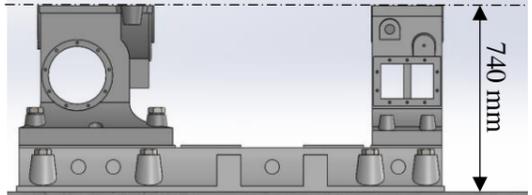
Ficha tecnológica

Equipo: Turbina

Actividad: Montaje del pedestal del cojinete guía.

Código: FTF-001-001-002

ITEM	DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO	EQUIPOS Y HERRAMIENTAS	PROCEDIMIENTO	OBSERVACIONES	SUBCONJUNTO
1	Limpieza	Guaípe, liquido penetrante, lija grano fino.	Limpiar la base inferior y el pedestal de cojinete.	Verificar si las áreas de contactos tanto de la base inferior como del pedestal del cojinete se encuentran libres de óxido.	<p>Figura 24 Base inferior</p> 
2	Movilización	Tecla de una tonelada Estrobo de sogá manila. Comba y martillos de bola y uña. Caballete de izaje.	Izar el pedestal del cojinete y situarlo en la base inferior.	El pedestal del cojinete de empuje se sitúa del lado del generador.	<p>Figura 25 Pedestal de cojinete guía.</p> 
3	Nivelación	Galgas, Calibrador de pie rey, regla metálica y nivel.	Nivelar al pedestal del cojinete respecto al conjunto.	Se debe analizar si existen alzas para la nivelación del conjunto.	<p>Figura 26 Lado de la turbina y generador del grupo generador.</p> 
4	Sujeción	Juego de llaves mixta hasta 42 mm. Juego de dados hasta 42 mm. Antiadherente Reloj palpador Alzas de nivelación	Colocar las arandelas en cada uno de los pernos.	4 arandelas Ø24	
			Montar los pernos en el pedestal del cojinete.	4 pernos M24x180 grado 4,8	
			Ajustar los pernos siguiendo la secuencia #2.	<p>El apriete de los pernos se lo realiza con lubricación.</p> <p>El torque para cada perno es de 250,1 N.m</p>	

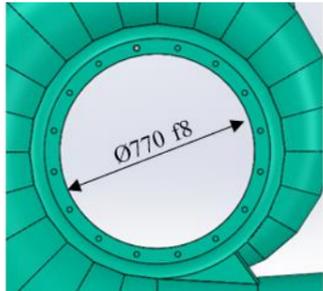
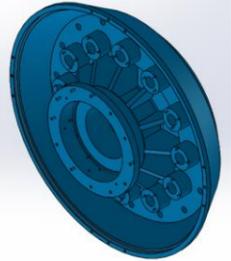
				<p>Verificar con el reloj palpador que luego del apriete si aflojamos la tuerca de sujeción el desplazamiento de la base no puede superar los 0.003 in.</p>	<p>Figura 27 Nivelación del pedestal de cojinete guía respecto al conjunto.</p>  <p>Figura 28 Nivel al que se debe encontrar el pedestal de cojinete guía respecto al conjunto.</p> 
--	--	--	--	---	--

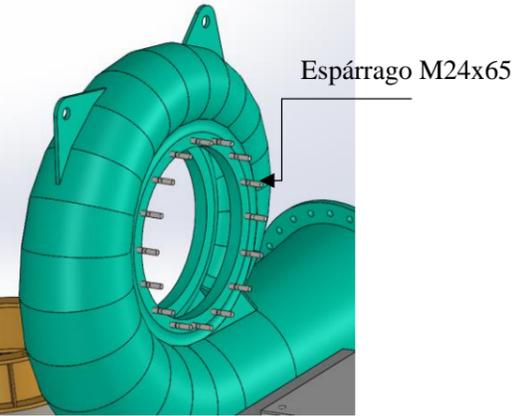
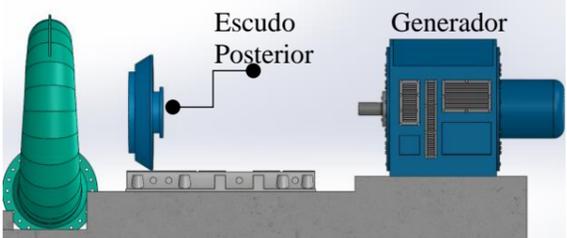
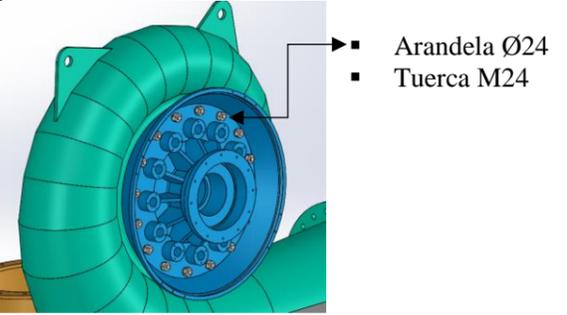
Ficha tecnológica

Equipo: Carcasa Espiral

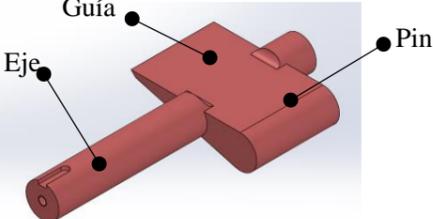
Actividad: Montaje del escudo posterior

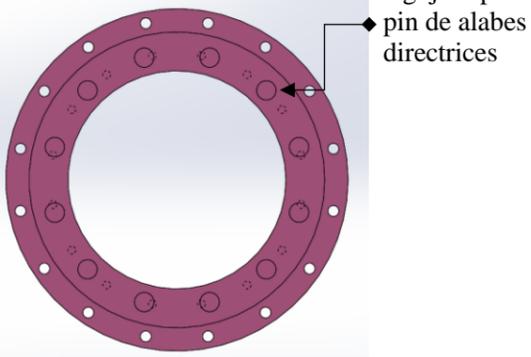
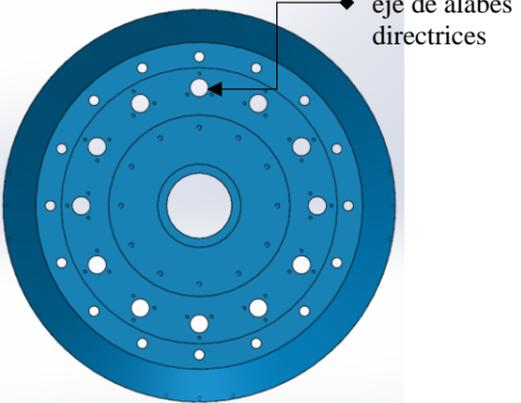
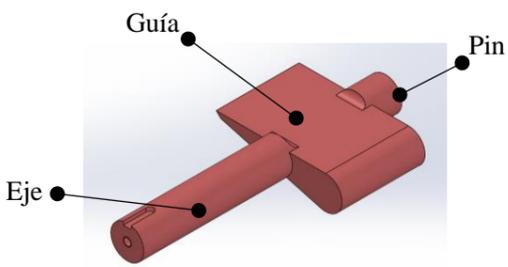
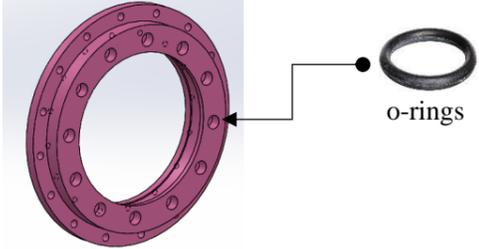
Código: FTF-001-001-003

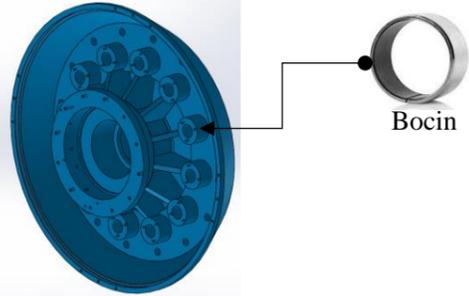
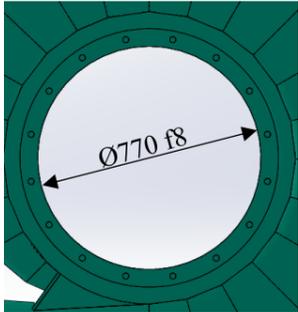
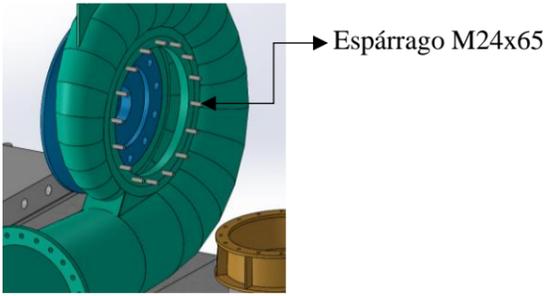
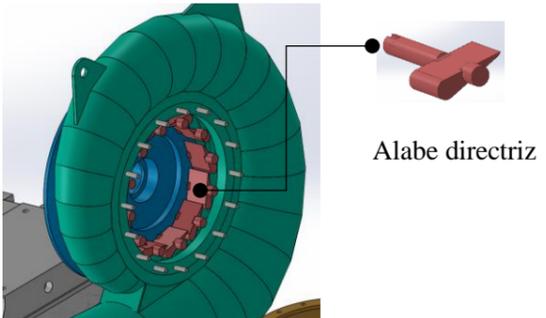
ITEM	DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO	EQUIPOS Y HERRAMIENTAS	PROCEDIMIENTO	OBSERVACIONES	SUBCONJUNTO
1	Limpieza	Guaípe, líquido penetrante, lija grano fino, espátula, cepillo de cerdas de acero.	Limpiar el escudo posterior y anillo de la carcasa espiral.	Verificar si las áreas de contacto tanto del escudo posterior como de la carcasa espiral se encuentran libres de óxido.	<p>Figura 29 Diámetro interno del anillo lado opuesto a la succión de la carcasa espiral.</p> 
2	Mediciones	Galgas, Calibrador de pie rey, regla metálica y nivel, cinta métrica. Compas de interiores.	Tomar mediciones del diámetro del agujero donde se sitúa al escudo posterior y registrar los valores en el protocolo 1M.	<p>Verificar que el escudo posterior esté dentro de la tolerancia de holgura respecto al anillo posterior de la carcasa espiral, el cual debe ser Ø770 H8/f8.</p> <p>Diámetro de anillo de contacto entre escudo posterior y carcasa espiral: Ø máx.: 769,92 mm. Ø mín.: 769,795 mm.</p> <p>Diámetro de agujero de la carcasa espiral: Ø máx.: 770,125 mm Ø mín.: 770 mm</p> <p>Verificar la nivelación vertical y horizontal.</p>	<p>Figura 30 Escudo posterior.</p>  <p>Figura 31. Vista lateral del escudo posterior</p> 
		Galgas, Calibrador de pie rey, regla metálica y nivel.	Tomar mediciones de concentricidad del escudo posterior.	N.A.	
			Tomar mediciones de concentricidad de los diámetros internos para el eje y los alabes directrices.		

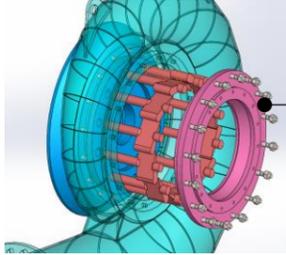
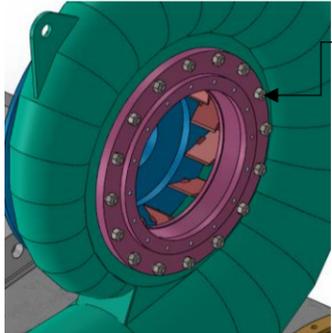
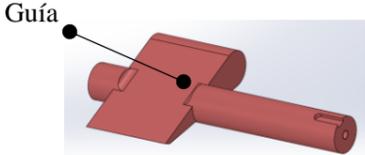
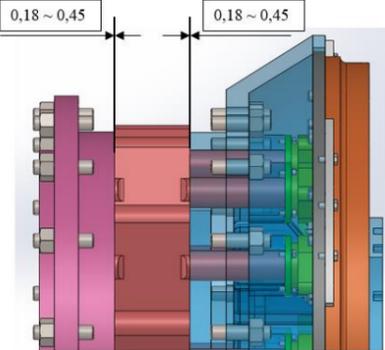
			Registrar los valores en el protocolo 1M.		Figura 32 <i>Espárragos situados a lo largo del anillo de la carcasa espiral en el lado del generador.</i>
3	Montaje	Extractor excéntrico de espárragos Llave inglesa Antiadherente y aceitera manual.	Instalar los espárragos a lo largo de la circunferencia del anillo de la carcasa espiral.	16 espárragos M24x65 grado 4,8.	
		Tecla de una tonelada Estrobo de sogá manila. Comba y martillos de bola y uña. Caballete de izaje	Movilizar al escudo posterior y centrarlo en la carcasa espiral en dirección al generador.	N.A.	Figura 33 <i>Movilización del escudo posterior.</i>
		Juego de llaves mixta hasta 42 mm. Juego de dados hasta 42 mm. Engrasadora y aceitera manual. Torquímetro.	Centrar el escudo posterior en el diámetro interno de la carcasa espiral.	16 arandelas Ø24 100HV	Figura 34 <i>Elementos involucrados en la sujeción del escudo posterior.</i>
			Colocar arandelas en cada uno de los espárragos.		
			Montar las tuercas en cada uno de los espárragos.	16 tuercas M24 grado 5	
Ajustar las tuercas siguiendo la secuencia #4.	El apriete de los pernos se lo realiza con lubricación. El torque para cada perno es de 250,1 N.m				

Ficha tecnológica**Equipo:** Carcasa Espiral**Actividad:** Montaje de los alabes directrices**Código:** FTF-001-001-004

ITEM	DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO	EQUIPO Y HERRAMIENTAS	PROCEDIMIENTO	OBSERVACIONES	SUBCONJUNTO
1	Limpieza	Guaípe, líquido penetrante, lija grano fino.	Limpiar el escudo anterior y alabes directrices.	Verificar si las áreas de contacto que tienen entre el eje del alabe directriz y el agujero donde ingresa este elemento en el escudo posterior está libre de óxido.	Figura 35 <i>Partes del alabe directriz.</i> 

2	Medición de diámetros.		<p>Verificar que los o-rings no se encuentren deformados y no existan picaduras.</p> <p>Verificar que el diámetro externo de los o-rings esté dentro de las tolerancias de sus holguras con respecto a los agujeros del escudo posterior, la cual debe ser $\text{Ø}40 \text{ H8/f9}$.</p> <p style="text-align: center;">$\text{Ø}50 \text{ H8/f9}$</p> <p>Eje: Ø máx.: 49,975 mm. Ø mín.: 49,913 mm.</p> <p>Agujero: Ø máx.: 50,039 mm Ø mín.: 50 mm</p>	<p>Figura 36 Escudo anterior.</p> 
		<p>Verificar que los o-rings no se encuentren deformados y no existan picaduras.</p> <p>Verificar que el diámetro externo de los o-rings esté dentro de las tolerancias de sus holguras con respecto a los agujeros del escudo posterior, la cual debe ser $\text{Ø}50 \text{ H8/f9}$.</p> <p style="text-align: center;">$\text{Ø}50 \text{ H8/f9}$</p> <p>Eje: Ø máx.: 49,975 mm. Ø mín.: 49,913 mm.</p> <p>Agujero: Ø máx.: 50,039 mm Ø mín.: 50 mm</p>	<p>Figura 37 Vista trasera del escudo anterior.</p> 	
		<p>Tomar mediciones del diámetro del eje de los alabes directrices, y registrar los valores en el protocolo 1M.</p> <p>Verificar que el diámetro interno de los rodamientos esté dentro de las tolerancias de sus holguras con respecto al eje y pin de los alabes directrices, la cual debe ser $\text{Ø}40 \text{ H8/f8}$.</p> <p style="text-align: center;">$\text{Ø}40 \text{ H8/f8}$</p> <p>Eje: Ø máx.: 49,975 mm. Ø mín.: 49,913 mm.</p> <p>Agujero: Ø máx.: 50,039 mm Ø mín.: 50 mm</p>	<p>Figura 38 Vista trasera del escudo posterior.</p> 	
		<p>Tomar mediciones del diámetro del mango de los alabes directrices, y registrar los valores en el protocolo 1M.</p> <p>Verificar que el diámetro interno de los rodamientos esté dentro de las tolerancias de sus holguras con respecto al eje y pin de los alabes directrices, la cual debe ser $\text{Ø}40 \text{ H8/f8}$.</p> <p style="text-align: center;">$\text{Ø}40 \text{ H8/f8}$</p> <p>Eje: Ø máx.: 39,975 mm. Ø mín.: 39,913 mm.</p> <p>Agujero: Ø máx.: 40,039 mm Ø mín.: 40 mm</p>	<p>Figura 39 Partes del alabe directriz.</p> 	
		<p>Tomar mediciones del diámetro del agujero donde se sitúa al escudo anterior y registrar los valores en el protocolo 1M.</p> <p>Verificar que el escudo anterior esté dentro de la tolerancia de holgura respecto al anillo de la carcasa espiral, el cual debe ser $\text{Ø}770 \text{ H8/f8}$.</p> <p style="text-align: center;">$\text{Ø}770 \text{ H8/f8}$</p> <p>Diámetro de anillo de contacto entre escudo anterior y carcasa espiral: Ø máx.: 769,92 mm. Ø mín.: 769,795 mm.</p> <p>Agujero: Ø máx.: 770,125 mm</p>	<p>Figura 40 Inserción de rodamientos deslizantes en el escudo anterior.</p> 	
	<p>Calibrador de pie rey, compas de interiores, micrómetro de interiores.</p>			

				<p>Ø min.: 770 mm</p> <p>Tomar mediciones de la concentricidad del escudo anterior y registrar los valores en el protocolo 1M.</p>	<p>Figura 41 Inserción de rodamientos deslizantes en el escudo posterior.</p> 
3	Instalación de rodamientos	Comba de goma y martillo de bola y uña.	Insertar los bocines en los agujeros de la cara frontal del escudo posterior.	<p>12 bocines: Ø_{out}: 46,3 mm Ø_{in}: 39,45 mm L: 95,5 mm</p>	
4	Instalación de espárragos.	Extractor excéntrico de espárragos Llave inglesa, Antiadherente.	Instalar los espárragos a lo largo de la circunferencia del anillo de la carcasa espiral.	<p>16 espárragos M24x65 grado 4,8</p>	<p>Figura 42 Diámetro interno del anillo de la carcasa espiral de lado del tubo de evacuación.</p> 
5	Montaje de alabes directrices	N.A.	Montar los o-rings en los ejes de los alabes.	<p>12 o-rings 12 bocines: Ø_{out}: 44,5 mm Ø_{in}: 34,85 mm L: 38,2 mm</p>	
		Comba de goma y martillo de bola y uña.	Insertar los ejes de los alabes en el escudo posterior.	<p>12 alabes directrices</p> <p>Engrasar los ejes y orificios por donde ingresa el eje del alabe móvil.</p>	<p>Figura 43 Vista lateral del escudo anterior</p> 
6	Montaje del escudo anterior	Tecla de una tonelada Estrobo de sogá manila. Comba y martillos de bola y uña. Caballete de izaje	Izar al escudo anterior y situarlo en la carcasa espiral.	<p>Verificar que el pin de los alabes directrices ingresen en cada agujero correspondiente del escudo.</p>	
		N.A.	Colocar arandelas en cada uno de los espárragos.	<p>16 arandelas Ø24 100HV</p>	
		N.A.	Montar las tuercas en cada uno de los espárragos.	<p>16 tuercas M24 grado 5</p>	
		Juego de llaves mixta hasta 42 mm. Juego de dados hasta 42 mm. Antiadherente, torquímetro.	<p>Colocar antiadherente a todos los pernos.</p> <p>Ajustar los pernos siguiendo la secuencia #4.</p>	<p>El apriete de los pernos se lo realiza con lubricación.</p> <p>El torque para el apriete es de 250,1 N.m</p>	<p>Figura 44 Espárragos situados a lo largo del anillo de la carcasa espiral en el lado del tubo de evacuación.</p> 
7	Medición de holguras.	Galgas, Calibrador de pie rey, regla metálica y nivel, cinta métrica.	Tomar mediciones de la holgura de la guía respecto a los escudos y registrarlas en el protocolo 2M.	<p>La holgura debe hallarse entre 0,18 y 0,45 mm.</p>	<p>Figura 45 Montaje de los alabes directrices.</p> 

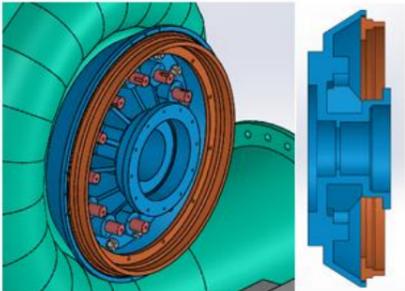
					<p>Figura 46 <i>Montaje del escudo anterior.</i></p>  <p>● Escudo anterior</p> <p>Figura 47 <i>Sujeción del escudo anterior.</i></p>  <p>Arandela Ø24 Tuerca M24</p> <p>Figura 48 <i>Alabe directriz.</i></p>  <p>Guía</p> <p>Figura 49 <i>Medición de holguras de la guía respecto al escudo posterior e inferior.</i></p>  <p>0,18 ~ 0,45 0,18 ~ 0,45</p>
--	--	--	--	--	---

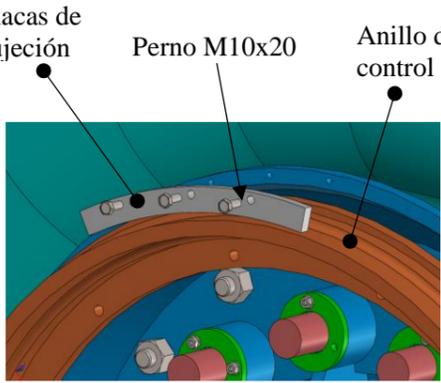
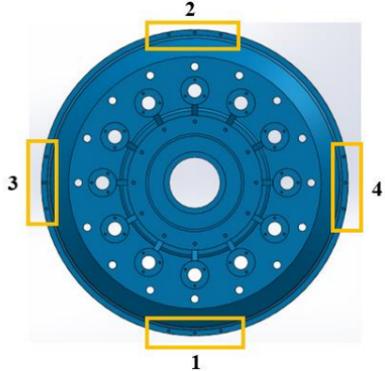
Ficha tecnológica

Equipo: Carcasa Espiral

Actividad: Montaje del anillo de distribución

Código: FTF-001-001-005

ITEM	DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO	EQUIPOS Y HERRAMIENTAS	PROCEDIMIENTO	OBSERVACIONES	SUBCONJUNTO
1	Limpieza	Guaípe, líquido penetrante, lija grano fino.	Limpiar el anillo de distribución y placas de sujeción.	Verificar si la superficie de contacto que tiene el anillo respecto al escudo se encuentra libres de óxido.	<p>Figura 50 <i>Montaje de anillo de control en el escudo posterior.</i></p> 
2	Montaje	Tecla de una tonelada Estrobo de sogá manila. Comba y martillos de bola y uña. Caballote de izaje.	Movilizar al anillo de distribución y situarlo cerca del escudo posterior. Mover el tecla de izaje para centrar el anillo de distribución	N.A.	

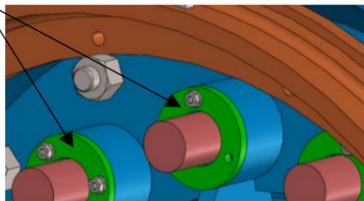
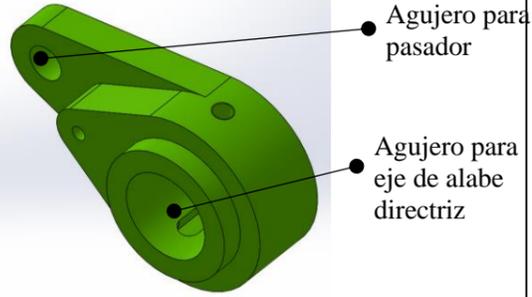
			en el escudo posterior.		Figura 51 <i>Montaje de las placas para la sujeción del anillo de control.</i>
			Montar los pernos en la placa de sujeción, una vez guiada aplicar ajustar los pernos siguiendo la secuencia #1	4 placas de sujeción 3 pernos por placa Perno M10x20 grado 4,8 El apriete de los pernos se lo realiza con lubricación. El torque para cada perno es de 19,6 N.m	
					Figura 52 <i>Secuencia para apriete de las placas de sujeción.</i>
					

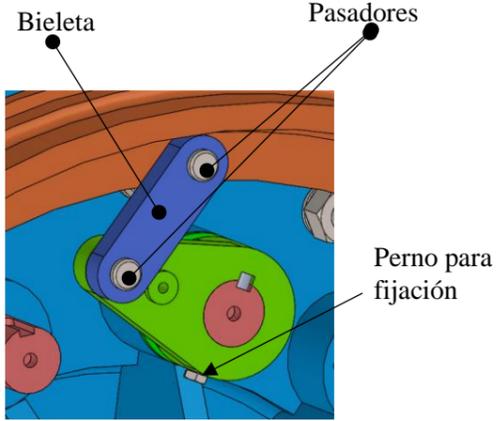
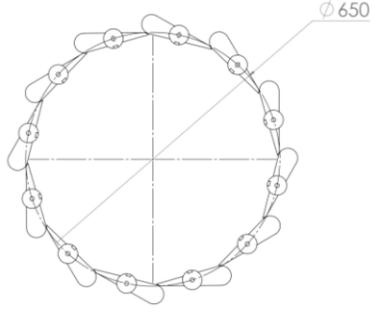
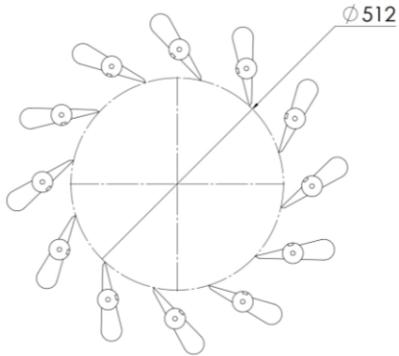
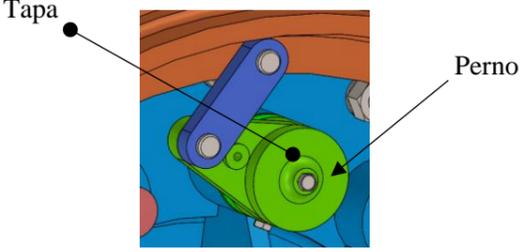
Ficha tecnológica

Equipo: Carcasa Espiral

Actividad: Montaje de bielas

Código: FTF-001-001-006

ITEM	DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO	EQUIPOS Y HERRAMIENTAS	PROCEDIMIENTO	OBSERVACIONES	SUBCONJUNTO
1	Limpieza	Guaípe, lija grano fino, liquido penetrante.	Limpiar biela y bieleta.	Verificar si los agujeros de la biela y bieleta se encuentran libres de óxido.	Figura 53 <i>Tapas de cierre de alabes móviles.</i> Tapas para cierre
2	Medición de diámetros	Galgas, Calibrador de pie rey, regla metálica y nivel, cinta métrica.	Tomar mediciones del diámetro interno para el eje del alabe directriz en la biela, y registrar los valores en el protocolo 1M.	N.A.	
3	Montaje de bielas	Juego de llaves mixta hasta 42 mm. Juego de dados hasta 42 mm. Antiadherente, torquímetro.	Situar las tapas de cierre en los ejes de los alabes.	12 tapas de cierre	
			Montar cada uno de los pernos para fijación de las tapas de cierre.	36 pernos M8x20	
			Situar las bielas en los ejes de los alabes directrices.	12 bielas	
			Montar el perno para fijación en cada biela.	12 pernos M12x35 grado 4,8. El apriete de los pernos se lo realiza con lubricación.	

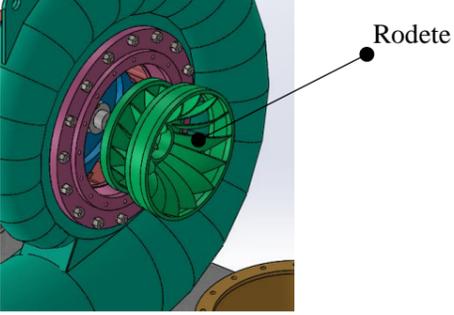
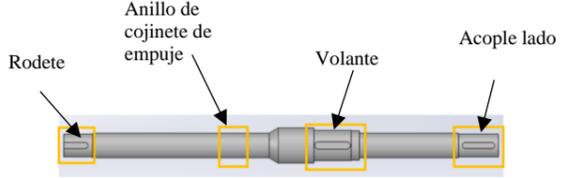
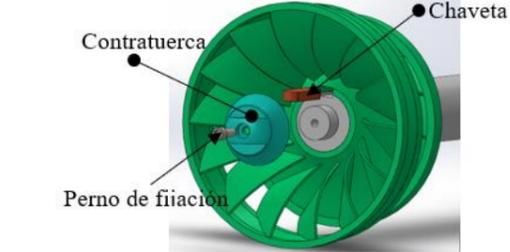
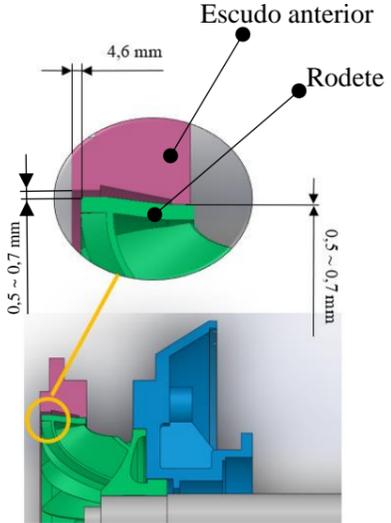
				El torque para cada perno es de 29,4 N.m	Figura 55 <i>Montaje de bieleta.</i>
4	Montaje de bieletas	Comba de goma y martillo de bola y uña. Flexómetro.	Situar las bieletas a lo largo de la circunferencia de anillo de distribución.	12 bieletas. Verificar que el mecanismo de accionamiento y los alabes directrices móviles se encuentren completamente cerrado.	
			Ensamblar bielas y bieletas por medio de pasadores.	24 pasadores El diámetro del círculo espaciador cuando el conjunto de alabes directrices está completamente cerrado es de 650 mm y 512 mm cuando está completamente abierto. Tomar mediciones de diámetro interno y externo en los bocines, así como en los ejes y mango de los alabes móviles. Registrar los valores en el protocolo M7. Inspeccionar las características de intercambiabilidad del anillo de distribución – alabes directrices.	
		N.A.	Situar las tapas protección en las bielas.	12 tapas.	
		Juego de llaves mixta hasta 42 mm. Juego de dados hasta 42 mm. Engrasadora y aceitera manual.	Empernar cada una de las tapas de las bielas.	12 pernos M12x50 grado 4,8 El apriete de los pernos se lo realiza con lubricación. El torque para cada perno es de 29,4 N.m	

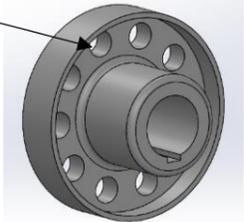
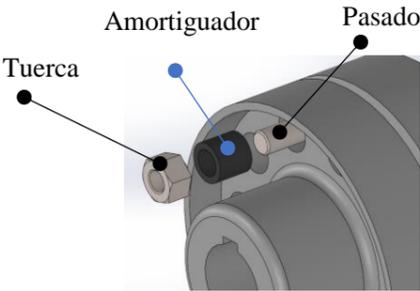
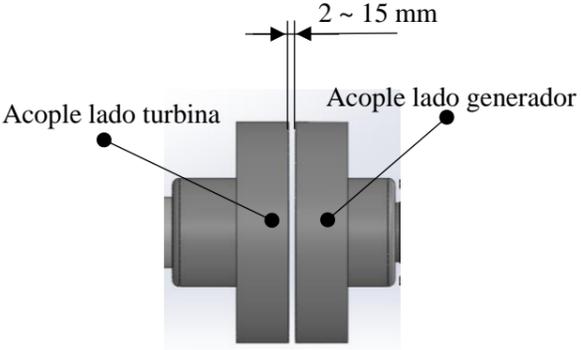
Ficha tecnológica

Equipo: Carcasa Espiral

Actividad: Montaje del rodete.

Código: FTF-001-001-007

ITEM	DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO	EQUIPOS Y HERRAMIENTAS	PROCEDIMIENTO	OBSERVACIONES	SUBCONJUNTO	
1	Limpieza	Guaípe, líquido penetrante, lija grano fino, antiadherente.	Limpiar el rodete y eje.	Verificar que la superficie de alojamiento del rodete esté libre de óxido.	<p>Figura 59 Rodete Francis.</p> 	
2	Montaje del rodete	<p>Tecla de una tonelada</p> <p>Estrobo de sogá manila.</p> <p>Comba y martillos de bola y ña.</p> <p>Caballete de izaje.</p>	Colocar la chaveta en el extremo del eje de la turbina.	Chaveta 36x20x150.	<p>Figura 60 Áreas de los elementos que se sitúan en el eje de la turbina.</p> 	
			Izar al rodete.	Posicionarlo cerca al escudo anterior.		
			Centrar al rodete con respecto al eje, tomando como referencia la chaveta.	Recubrir con cebo o antiadherente en el extremo del eje donde se aloja el rodete.		
		Montar la contratuerca del rodete.	Emplear la herramienta para apriete de rodete. Anexo 2.		<p>Figura 61 Elementos involucrados en la sujeción del rodete en el eje.</p> 	
		Montar perno para fijación de la contratuerca del rodete.	Perno de acero inoxidable M20x60 grado 80.			
		Ajustar el perno de fijación.	El apriete se lo realiza con lubricación. El torque para el perno es de 147,1 N.m Con respecto al escudo anterior el rodete debe ingresar máximo 4,6 mm. La holgura existente entre el rodete y el escudo posterior es de 0,5 ~ 0,7 mm al radio. Tomar cada una de las mediciones de holguras y registrar los valores en el protocolo 3M.			
Juego de llaves mixta hasta 42 mm.	Juego de dados hasta 42 mm.	Antiadherente, torquímetro.		<p>Figura 62 Holguras existentes entre el escudo posterior y rodete.</p> 		

3	Unión de los acoples	Juego de llaves mixta hasta 42 mm. Juego de dados hasta 42 mm. Torquímetro. Calibrador pie de rey, galgas.	Conectar el acople del lado de la turbina con acople del lado del generador.	Acople tipo bulones. 10 pasadores. 10 amortiguadores de cuero o caucho. 10 tuercas M36, grado 8. La holgura existente entre el acople de lado de la turbina con el de lado del generador es de: 2 ~ 15 mm.	<p>Figura 63 Acople lado turbina.</p>  <p>Agujeros para pasadores.</p> <p>Figura 64 Elementos involucrados en la unión de los acoples.</p>  <p>Amortiguador Pasador Tuerca</p> <p>Figura 65 Separación entre acoples.</p>  <p>2 ~ 15 mm Acople lado turbina Acople lado generador</p>
---	----------------------	---	--	--	--

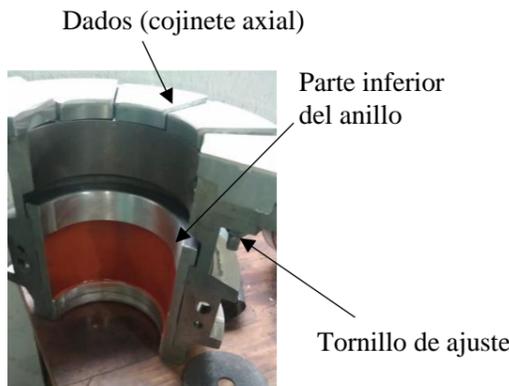
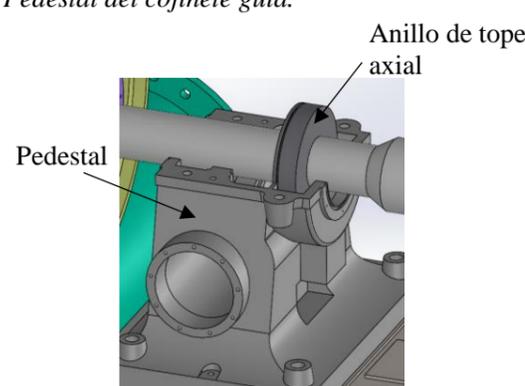
Ficha tecnológica

Equipo: Carcasa Espiral

Actividad: Montaje del cojinete de empuje.

Código: FTF-001-001-008

ITEM	DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO	EQUIPOS Y HERRAMIENTAS	PROCEDIMIENTO	OBSERVACIONES	SUBCONJUNTO
1	Limpieza	Guaípe, lija grano fino, solvente.	Limpiar los elementos que constituyen al cojinete de empuje.	Verificar si los elementos están libres de óxidos.	<p>Figura 66 Elementos que constituyen al cojinete de empuje.</p>  <p>Parte superior del cojinete radial. Base guía superior del cojinete Parte inferior del cojinete radial. Base guía inferior del cojinete Dados</p>
2	Ensamblaje de cojinete	Llave #16, torquímetro.	Ensamblar el cojinete de empuje.	Tornillo de ajuste M16x35. El apriete se lo realiza con lubricación. El torque para cada perno es de 76 N.m	
3	Medición del diámetro interno del cojinete	Calibrador de pie rey, compas de interiores.	Medir diámetro interno del anillo intermedio. Medir diámetro del eje donde se sitúa el anillo intermedio.	Se debe analizar si el cojinete dispone de alzas calibradas para la excentricidad (alzas de 0,1 mm). Tomar mediciones de diámetro del cojinete y eje, registrar los valores en el protocolo 4M.	

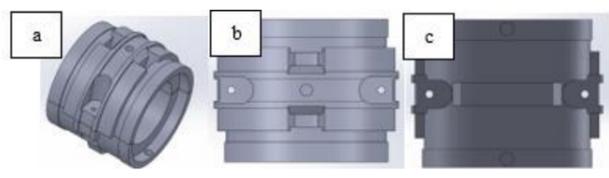
				La diferencia entre el diámetro del anillo y del eje debe encontrarse en el rango de 0,15 a 0,20 mm, cualquier valor fuera del rango impedirá la correcta formación de la película de aceite que minimiza la fricción entre el anillo y eje.	<p>Figura 67 Elementos que constituyen la parte inferior del cojinete de empuje.</p> 
4	Montaje de cojinete	Llave #16, torquímetro. Juego de desarmadores planos y estrellas, comba de goma.	Desensamblar cojinete de empuje.	N.A.	<p>Figura 68 Pedestal del cojinete guía.</p> 
			Ensamblar el conjunto cojinete radial, axial y dados axiales en la base superior e inferior del cojinete.	10 dados de tope axial. Tornillos de ajuste M16x16.	
			Montar el conjunto inferior del cojinete.	Verificar en los extremos la holgura existente, radial y axial, tienen como mínimo 0,25 mm y máximo 0,50 mm.	
			Montar el conjunto superior del cojinete.	Verificar si se requiere las alzas de excentricidad del cojinete.	
			Colocar tornillos para la sujeción de las bases del cojinete.	2 tornillos M16x35 Grado 8.8 El apriete se lo realiza con lubricación. El torque para cada perno es de 76 N.m Verificar la holgura axial entre el anillo de tope axial y los dados; registrar los valores en el protocolo M3.	<p>Figura 69 Vista I del cojinete de empuje en el pedestal.</p> 

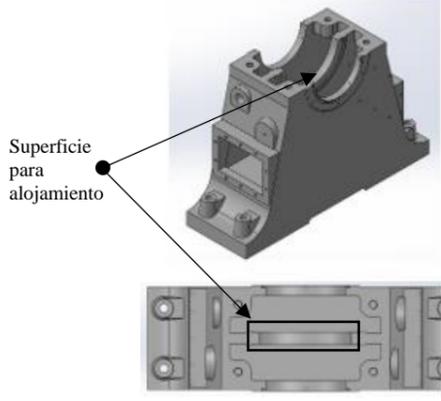
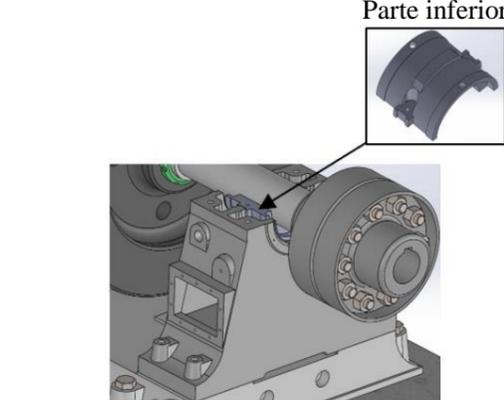
Ficha tecnológica

Equipo: Carcasa Espiral

Actividad: Montaje del cojinete guía.

Código: FTF-001-001-009

ITEM	DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO	EQUIPOS Y HERRAMIENTAS	PROCEDIMIENTO	OBSERVACIONES	SUBCONJUNTO
1	Limpieza	Guaípe, lija grano fino.	Limpiar las partes del cojinete guía.	Base superior e inferior. Verificar si las bases están libres de óxido.	<p>Figura 70 a) Cojinete guía, b) Base superior, c) Base inferior.</p> 
2	Ensamblaje de cojinete	Llave #16, torquímetro.	Ensamblar cojinete guía para verificación de medidas.	Tornillo de ajuste M16x35. El apriete se lo realiza con lubricación.	

				El torque para cada perno es de 76 N.m	<p>Figura 71 Superficie donde se sitúa la tapa inferior del cojinete guía.</p> 
3	Medición del diámetro interno del cojinete	Calibrador de pie rey, compas de interiores.	Medir diámetro interno del cojinete.	Verificar si se requiere las alzas de excentricidad del cojinete.	<p>Figura 72 Montaje de la tapa inferior del cojinete guía en el pedestal.</p> 
			Medir diámetro del eje donde se sitúa el cojinete.	Tomar mediciones de diámetro y registrar los valores en el protocolo 4M.	
4	Montaje del cojinete	Llave #16, torquímetro. Juego de desarmadores planos y estrellas, combo de goma.	Situar al anillo de lubricación.	2 anillos de lubricación.	<p>Figura 73 Colocación de los anillos levantadores de aceite.</p> 
			Montar la base inferior del cojinete en el pedestal.	N.A.	
			Encajar los anillos de lubricación en la parte inferior del cojinete.		
			Montar la base superior del cojinete.		
			Colocar tornillos para la sujeción de las partes del cojinete.	<p>2 tornillos M16x35 Grado 8.8</p> <p>El apriete se lo realiza con lubricación.</p> <p>El torque para cada perno es de 76 N.m</p>	

Ficha tecnológica

Equipo: Grupo generador

Actividad: Mantenimiento preventivo-predictivo

Código: FTF-001-001-010

ITEM	DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO	PROCEDIMIENTO	OBSERVACIONES	SUBCONJUNTO
1	Análisis de vibraciones	Se realiza la medición y análisis de vibraciones.	Tolerancias según la norma ISO 10816-3 Advertencia 4,00[mm/s] Alarma 7,00[mm/s]	<p>Figura 75 <i>Medición de niveles de vibración en la turbina y generador.</i></p> 
2	Análisis de termografía	Se realiza la medición de la temperatura de los cojinetes en los puntos de control.	Para todo tipo de equipos rotativos se tiene el siguiente nivel de temperatura: Advertencia > 65° Alarma > 75°	<p>Figura 76 <i>Análisis termográfico en cojinete de empuje.</i></p> 
3	Alineación	Se realiza la alineación entre el eje de la turbina y generador.	Valores satisfactorios para la alineación Angular = 0,08 mm. Horizontal = 0,10 mm.	<p>Figura 77 <i>Determinación de alineación entre el eje de la turbina y eje del generador.</i></p>  <p>GEN G2 365 IN2 2021-08-18 13:11 70369 EVO 1.2</p> <p>210 250 840 445</p> <p>+0.08 /100 + -0.05 +0.33 +0.97</p> <p>+0.07 /100 -0.25 +0.11 +0.72</p> <p>0.08 0.10</p>

Capítulo IV. Conclusiones y Recomendaciones

4.1. Conclusiones

En base a lo expuesto a lo largo de este trabajo se presentan las siguientes conclusiones:

En cuanto a las características técnicas de la turbina se concluye que es una turbina Francis HL220-WJ-50 tipo horizontal de 470 kW, velocidad de giro 900 rpm y altura de caída aproximadamente 40 metros y un caudal aproximado de 1,64 m³/s. Según la clasificación del Consejo Nacional del Ecuador, CONELEC, corresponde a una central hidroeléctrica pequeña.

El historial de mantenimiento se lo lleva a través de un libro en el que abarcan todos los equipos de generación, así como también se guarda un archivo compuesto de hojas de reporte donde se puede obtener las principales acciones de mantenimiento y fallas que se generan durante la operación de los grupos.

Los operadores de la central hidroeléctrica Hidrocarolina no tienen una formación técnica, a excepción de uno de ellos, que por sus años de experiencia tiene criterios para realizar actividades de montaje y mantenimiento, pero no cuenta con la capacidad de interpretar los planos existentes de este grupo generador.

Utilizando los planos CAD existentes y previa verificación de las medidas de algunos elementos que componen a la turbina, se desarrolló los modelos tridimensionales de dichas piezas con los que se estructuró, un video CAD explicativo para que sus operadores puedan ser capacitados y realicen las actividades de mantenimiento con criterio técnico.

El video CAD permite visualizar con facilidad las actividades de desmontaje, ubicación de las piezas y montaje.

Durante la ejecución de los planos CAD se permitió definir los parámetros técnicos.

En base a los planos CAD se establecieron hojas de procesos en los cuales se indican las tolerancias, holgura mínima y máxima entre piezas, torque de apriete, equipos y herramientas, lubricantes y antiadherente.

Las holguras que se deben mantener entre las tapas de la turbina y el rodete deben ser mínimo 0.5 mm y máximo 0.7 al radio.

Las holguras a nivel de cojinetes planos deben tener como mínimo 0,15 mm y máximo 0,20 mm al diámetro para mantener una adecuada lubricación hidrodinámica.

La holgura entre el cojinete y la cara axial del cojinete radial deben tener como mínimo 0,25 mm y máximo 0,50 mm.

Para verificar una adecuada nivelación, las holguras en el cojinete radial y el eje, y las holguras entre el rodete y las tapas, deben estar en el valor mínimo para garantizar que el eje está nivelado.

Esta comprobación se lo realiza cuando han sido reconstruida las tapas de la turbina. A partir de esta condición se da inicio al proceso de alineación y análisis de vibración.

Por lo menos cada año se deben realizar los registros de las holguras indicadas anteriormente, así como también la comprobación de la alineación del conjunto turbina generador, análisis de vibraciones y de ser posible un análisis termográfico.

4.2. Recomendaciones

- Se recomienda llevar un registro de las acciones de mantenimiento de los grupos generadores a nivel independiente, en donde se especifiquen los modos y efectos de fallas, así como también se debe registrar las actividades de mantenimiento realizadas.
- En cada mantenimiento anual se deben verificar las holguras de las principales partes de la turbina, que al tener un trabajo continuo se van desgastando.
- Verificar anualmente la alineación y análisis de vibraciones para que evalúen el nivel de desgaste de algunos elementos.
- Previa a las acciones de desmontaje de las piezas se recomienda utilizar un proceso de marcado mecánico de las piezas para mantener la posición de funcionamiento de las mismas.
- Utilizar la presente información para la estructuración de un folleto tipo manual de operación y mantenimiento de centrales hidroeléctricas pequeñas.
- Realizar un curso de capacitación a los operadores utilizando el presente trabajo realizado.

Bibliografía

- [1] M. d. E. y. R. N. N. Renovables., Ecuador consolida la producción eléctrica a partir de fuentes renovables, Quito: Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables., 2020.
- [2] C. EP, «Celec,» 14 01 2021. [En línea]. Available:
<https://www.celec.gob.ec/hidroagoyan/index.php>. [Último acceso: 2021].
- [3] Z. A., Artist, *Análisis de viabilidad de pequeñas centrales centrales hidroeléctricas en el Ecuador..* [Art]. Escuela Politécnica Nacional, Quito.
- [4] H. Rojas, E. Duque y Y. García, Artists, *Contexto actual del sector hidroeléctrico ecuatoriano: Análisis de proyecto emblemáticos..* [Art]. Universidad Técnica Particular de Loja.
- [5] L. García de Fonseca, M. Parikh y M. Ravi, Artists, *Evolución futura de costos de las energías renovables y almacenamiento en América Latina..* [Art]. Banco Interamericano de Desarrollo., 2019.
- [6] S. & K. R. Singal, «Operation and Maintenance problems in hydro turbine material in small hydro power plant.,» *Materials today: Proceedings,* pp. 2323-2331, 2015.
- [7] A. & R. C. C. Valencia Velez, Artist, *Criterios de diseño y montaje para una central hidroeléctrica con capacidad de generación de 20 MW.* [Art]. Universidad Autónoma de Occidente , Santiago de Cali.

- [8] E. E. R. R. & R. S. Briceño, Artist, *Manual de capacitación en operación y mantenimiento de pequeñas centrales*. [Art]. Lima: Soluciones Prácticas - ITDG., 2008.
- [9] J. C. Galán, Artist, *Estudio para el desarrollo de centrales microhidráulicas. Aplicación a zona rural subdesarrollada..* [Art]. Universitat Politècnica de Catalunya, 2008.
- [10] J. M. M. Fano, «La generación de energía hidroeléctrica,» *Anales de mecánica y electricidad*, vol. 83, nº 1, pp. 35-40, 2006.
- [11] M. p. l. T. E. y. e. R. Demográfico, Artist, *Aprovechamientos Hidroeléctricos*. [Art]. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2002.
- [12] T. Duchi Mesa y A. Peralta Abril, Artists, *Manual de operación y mantenimiento para la central hidroeléctrica SAYMIRÍN V*. [Art]. Universidad de Cuenca, 2014.
- [13] F. Inmaculada y R. Arsenio, Artists, *Centrales de generación de energía eléctrica*. [Art]. Universidad de Cantabria, 2012.
- [14] E. Briceño, *Manual de capacitación en operación y mantenimiento de pequeñas centrales hidráulicas*, Lima - Perú: Soluciones Prácticas ITDG, 2008.
- [15] B&V Ingeniería Bombas Válvulas Accesorios, «B&V Ingeniería S.A.S,» B&V Ingeniería S.A.S, [En línea]. Available: <https://byv.com.co/turbinas-francis/>. [Último acceso: 14 11 2021].

- [16] FLOVEL, «FLOVEL,» FLOVEL, [En línea]. Available: <https://flovel.net/es/nuestros-productos/turbinas-pelton/>. [Último acceso: 14 11 2021].
- [17] F. Kenyery y M. Asuaje, Artists, *Diseño mecánico e hidráulico de una turbina Francis Tubular*. [Art]. Universidad Simón Bolívar, 2006.
- [18] U. d. p. minero-energética, «Hidroenergía,» de *ATLAS Potencial Hidroenergético de Colombia*, Gobierno de Colombia, 2015, pp. 25-36.
- [19] HIDROINGENIERIA, «HIDROINGENIERIA,» Maiquel Bock , 21 05 2018. [En línea]. Available: <https://www.hidroenergia.com.br/blog/tipos-turbinas-hidraulicas/>. [Último acceso: 14 11 2021].
- [20] R. Nerea Arriazu y J. López Rodríguez, Artists, *Análisis de la producción eléctrica generada en la minicentral hidroeléctrica de anguiano.* [Art]. Universidad Pública de Navarra, 2019.
- [21] C. F. d. Electricidad, Artist, *Generadores Sincronos para turbina tipo Bulbo*. [Art]. 2016.
- [22] U. Q. Yale, Análisis de fallas funcionales del sistema turbina-generador del grupo 01 en la central hidroeléctrica Baños II - Huaral, Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú., 2019.
- [23] J. F. Monllor, Artist, *Proyecto de desmantelamiento de un grupo generador de la central hidroeléctrica Los Villanuevas, en el ri Mijares, TM Olba (Teruel)*. [Art]. Universidad Politécnica de Valencia, 2018.

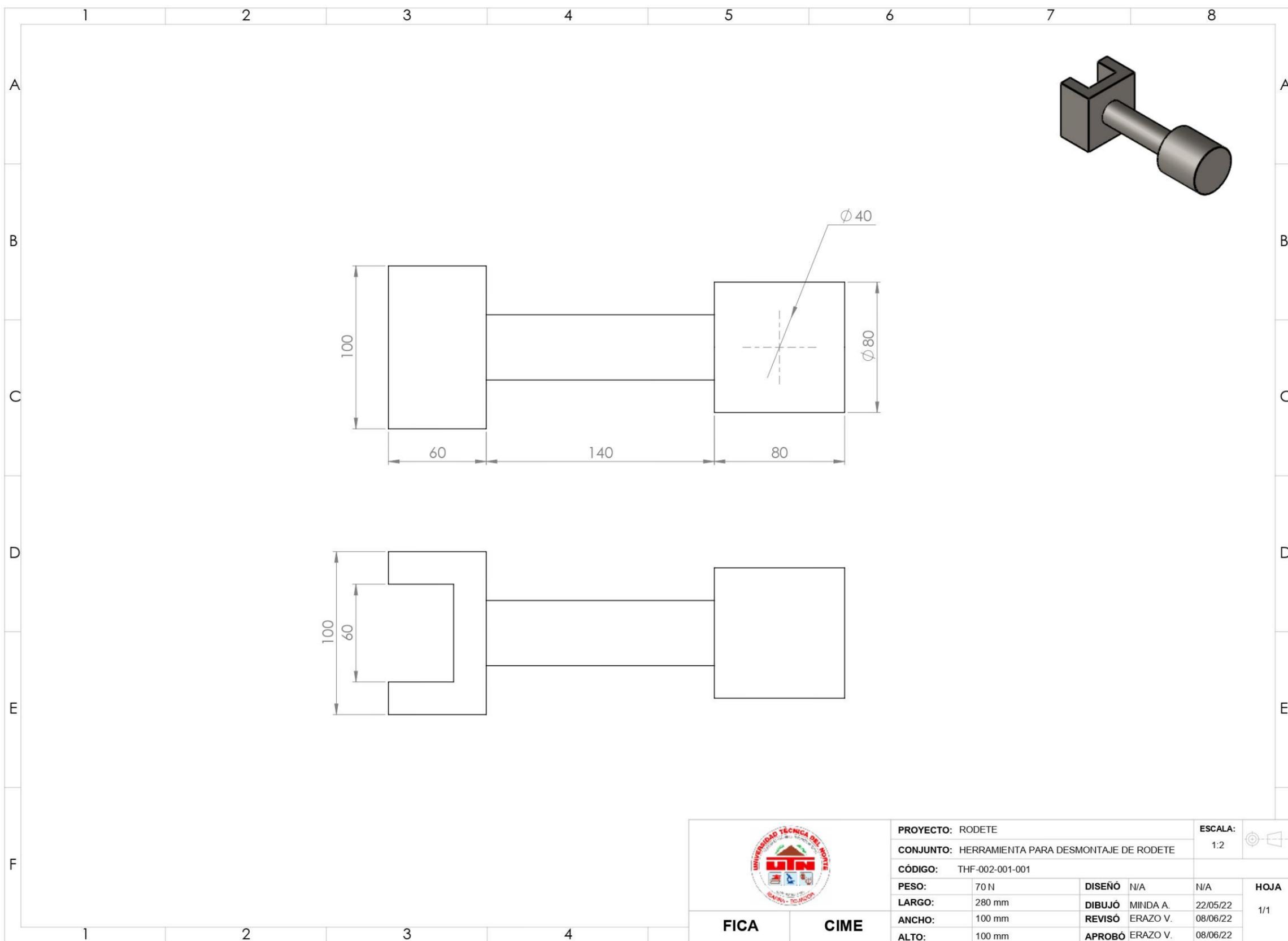
- [24] A. V. Velez y C. R. Castro, Artists, *Criterios de diseño y montaje para una central hidroeléctrica con capacidad de 20MW*. [Art]. Universidad Autónoma de Occidente , 2013.
- [25] A. A. Nieves, Montaje mecánico en instalacion solares fotovoltaicas, Vértice, 2011.
- [26] L. S. 2. Fuchun Industry Development Co., Instruction Manual For Installation, Operation & Maintenance, 2013.
- [27] G. T. Mecánica., Artist, *Procesos de fabricación: Ajustes y tolerancias*. [Art].
- [28] «RENOVETEC,» 2013. [En línea]. Available:
<http://ingenieriadelmantenimiento.com/index.php/26-articulos-destacados/19->.
- [29] T. Proyesa, Artist, *Manual Técnico de Pernos*. [Art]. Torní Proyesa, 2018.
- [30] I. y. C. d. I. R. P. C. y. N. A. d. I. R. P. C. Administración General de Supervisión de Calidad, Artist, *Especificaciones para la instalacion de unidades generadoras de turbina hidráulica. GB/T 8564-2003*. [Art]. 2004.
- [31] C. A. R. Escobar, Elaboración de un sistema de mantenimiento preventivo planificado mediante el estudio de la rehabilitacion de una central hidroelectrica., Santafé de Bogotá - Colombia.: Universidad Autonoma de Colombia.

ANEXOS

Anexo 1. Niveles de Apriete para Tornillos en Acero

D (mm)	Paso (mm)	Con lubricación (N.m)	Sin lubricación (N.m)
M6	1	5,1	6,1
M8	1,25	9,8	12,7
M10	1,5	19,6	39,2
M12	1,15	29,4	66,2
M14	2	49,0	107,9
M16	2	76,0	161,8
M18	2,5	103,0	220,7
M20	2,5	147,1	310,9
M22	2,5	147,1	421,7
M24	3	250,1	542,3
M27	3	369,7	799,2
M30	3,5	502,1	1083,6
M33	3,5	676,7	1471,0
M36	4	869,9	1946,6
M39	4	1129,7	2466,4
M42	5	1431,8	3118,5
M45	5	1765,2	3863,8
M48	5	2157,5	4707,2
M52	5	2765,5	6060,5
M56	5,5	3452,0	7561,0
M60	5,5	4305,1	9473,3
M64	6	5207,4	11454,2

Anexo 2. Herramienta para apriete de contratuerca de rodete



FICA CIME

PROYECTO: RODETE		ESCALA: 1:2	
CONJUNTO: HERRAMIENTA PARA DESMONTAJE DE RODETE			
CÓDIGO: THF-002-001-001			
PESO:	70 N	DISEÑO	N/A
LARGO:	280 mm	DIBUJÓ	MINDA A.
ANCHO:	100 mm	REVISÓ	ERAZO V.
ALTO:	100 mm	APROBÓ	ERAZO V.

HOJA	1/1
-------------	-----

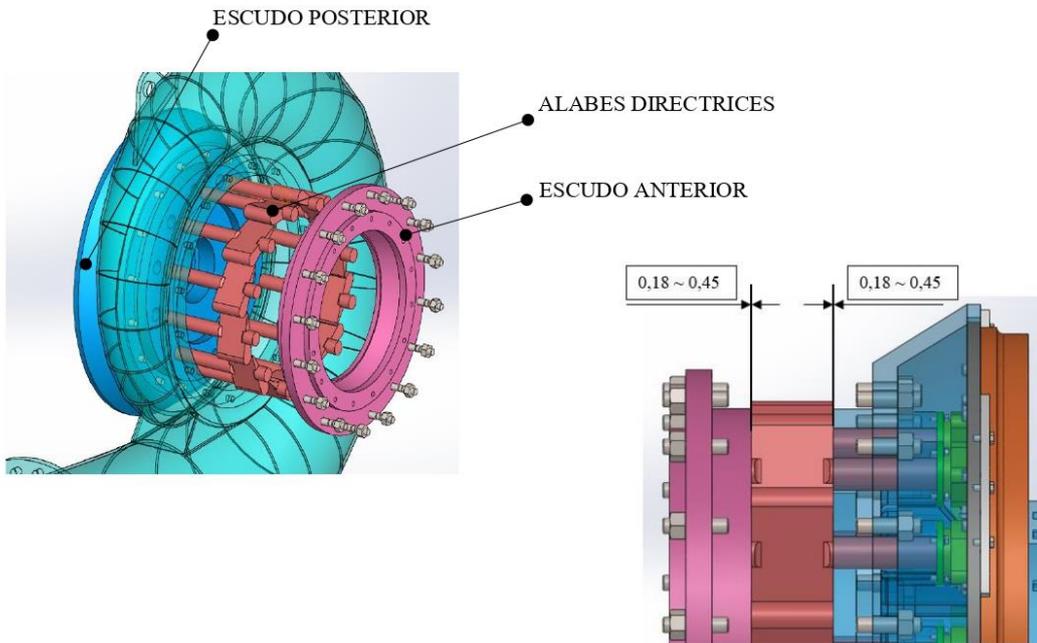
Anexo 4. Protocolo 2M

PROTOCOLO 2M

CENTRAL HIDROELECTRICA _____ UNIDAD _____

MEDICIONES DE HOLGURA DE LA GUÍA DE ALABES DIRECTRICES RESPECTO AL ESCUDO POSTERIOR Y ANTERIOR.

FECHA: _____
 EJECUTADO POR: _____



N° DE ALABE	HOLGURA		OBSERVACIONES
	ESCUDO ANTERIOR	ESCUDO POSTERIOR	
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			

INSTRUMENTOS DE MEDIDA _____

OBSERVACIONES _____

Anexo 5. Protocolo 3M

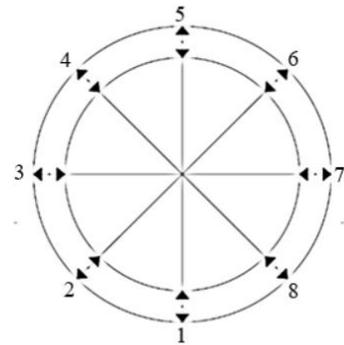
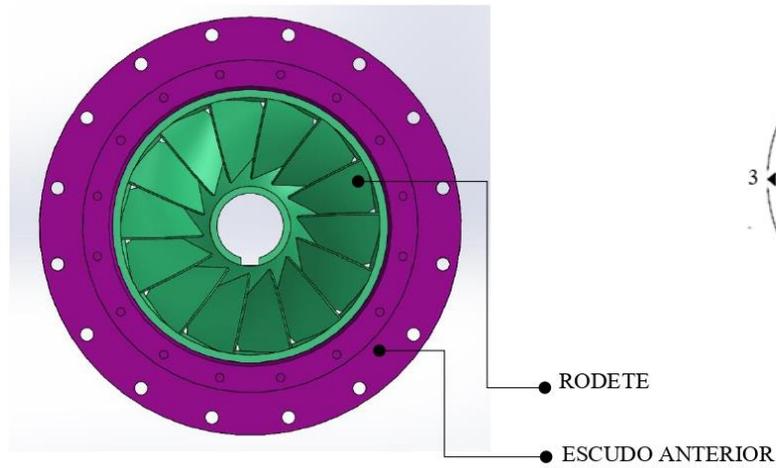
PROTOCOLO 3M

CENTRAL HIDROELECTRICA _____ UNIDAD _____

MEDICIONES DE HOLGURA EXISTENTE ENTRE EL ESCUDO ANTERIOR Y RODETE.

FECHA:

EJECUTADO POR:



POSICIÓN	MEDICIONES		
	A	B	C
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			

INSTRUMENTOS DE MEDIDA _____

OBSERVACIONES _____

Anexo 6. Protocolo 4M

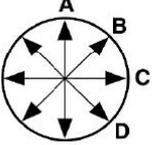
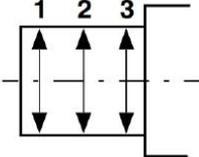
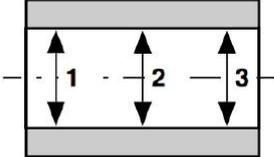
PROTOCOLO 4M

CENTRAL HIDROELECTRICA _____ UNIDAD _____

MEDICIONES DE CONCENTRICIDAD EXISTENTE EN LOS COJINETES.

FECHA:

EJECUTADO POR:

Posición	Diámetro de eje			Diámetro de alojamiento		
						
	1	2	3	1	2	3
A						
B						
C						
D						

INSTRUMENTOS DE MEDIDA _____

OBSERVACIONES _____

Anexo 7. Planos mecánicos

Al tener una cantidad considerable de planos mecánicos se adjunta un link con los documentos pertinentes correspondientes a este trabajo de grado.