

# COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD

CENTRAL HIDROELÉCTRICA  
MANUEL MORENO TORRES

INGENIERÍA MECÁNICA

PROYECTO

**ELABORACIÓN DE PROCEDIMIENTO  
PARA DESMONTAJE, REPARACIÓN Y  
MONTAJE DE UNA UNIDAD  
GENERADORA DE 300 MW DE LA C. H.  
MANUEL MORENO TORRES (CFE).**

PRESENTA

**GUILLERMO EMANUEL LÓPEZ LÓPEZ**

NUMERO DE CONTROL:

**08270172**

ASESOR INTERNO:

**ING. HERNÁN VALENCIA SÁNCHEZ**

ASESOR EXTERNO:

**ING. NÉSTOR JOAQUÍN CRUZ**

**CFE** *Una empresa  
de clase mundial*

**RESIDENCIA  
PROFESIONAL**



**PERIODO: AGOSTO- DICIEMBRE 2012**



## INDICE

### Contenido

---

1.0 INTRODUCCIÓN.....	3
2.0 JUSTIFICACIÓN.....	5
3.0 OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS.....	6
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	6
3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO.....	6
4.0 CARACTERIZACIÓN DE LA EMPRESA Y ÁREA DE PARTICIPACIÓN.....	7
4.1 LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA ING. MANUEL MORENO TORRES.....	7
4.2 HIDROLOGÍA: OBRAS PRINCIPALES.....	8
4.2.1 OBRA DE EXCEDENCIAS.....	8
4.2.2 VERTEDORES.....	8
4.2.3 CORTINA.....	8
4.2.4 OBRA DE TOMA.....	9
4.2.5 CONDUCCIÓN A PRESIÓN.....	10
4.2.6 CASA DE MAQUINAS.....	10
4.2.7 GALERÍA DE TRANSFORMADORES.....	11
4.2.8 GALERÍA DE OSCILACIÓN.....	11
4.2.9 TÚNELES DE DESFOGUE.....	11
4.2.10 VASO.....	11
4.2.11 SUBESTACIÓN ELÉCTRICA.....	12
4.2.12 LOCALIZACIÓN:.....	12
4.3 ÁREA DE PARTICIPACIÓN Y DE TRABAJO:.....	13
5.0 PROBLEMAS A RESOLVER.....	14
6.0 ALCANCES Y LIMITACIONES.....	16
7.0 FUNDAMENTO TEÓRICO.....	17
7.1 TURBINA FRANCIS.....	17
7.2 DESARROLLO.....	17
7.3 PARTES.....	17
7.3.1 CAJA ESPIRAL.....	17
7.3.2 PREDISTRIBUIDOR.....	188
7.3.3 DISTRIBUIDOR.....	18
7.3.4 ROTOR.....	18
7.3.5 TUBO DE ASPIRACIÓN.....	18
7.3.6 TIPOS DE TURBNAS FRANCIS.....	19



7.3.7	DISTRIBUIDOR DE UNA TURBINA FRANCIS.....	24
7.3.8	EQUIPO DE ACCIONAMIENTO DE ÁLABES DIRECTRICES.....	27
7.3.9	SERVOMOTORES.....	277
7.4	TIPOS DE MANTENIMIENTO .....	29
7.5	CARACTERÍSTICAS DE LA TURBINA.....	30
8.0	PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS.....	34
9.0	RESULTADOS, PLANOS, GRÁFICAS, PROTOTIPOS Y PROGRAMAS.....	36
9.1	EL PROGRAMA DE DESMONTAJE, REPARACIÓN Y MONTAJE .....	36
I.	DESMONTAJE.....	36
II.	REPARACIÓN.....	50
III.	MONTAJE .....	61
IV.	MANTENIMIENTO AL REGULADOR DE VELOCIDAD .....	65
V.	SISTEMA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO.....	67
VI.	CENTRAL OLEODINAMICA OBRA DE TOMA.....	68
VII.	GENERADOR.....	68
VIII.	PUESTA EN SERVICIO .....	68
9.2	CÁLCULOS DE PESOS TEÓRICOS Y ESFUERZO .....	69
A)	PESO DEL COLLAR DE CARGA .....	70
B)	PESO DE LOS PERNOS DEL SERVOMOTOR .....	72
C)	PESO DE LA FLECHA .....	74
D)	PESO DE BULÓN FLECHA RODETE.....	78
E)	PESO DE BULÓN FLECHA ROTOR.....	80
F)	PESO DE ESLABÓN DE BIELAS EN ANILLO DE REGULACIÓN .....	82
G)	PESO DE CAMISAS DE ÁLABES MÓVILES.....	84
H)	PESO DE BIELAS DEL ANILLO DE REGULACIÓN.....	87
9.3	CALCULO DE ESFUERZO EN LA FLECHA DEL CONJUNTO GENERADOR.....	89
10.0	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	92
11.0	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y VIRTUALES .....	93
12.0	ANEXOS.....	94
12.1	ANEXO 1.....	94



## 1.0 INTRODUCCIÓN.

Energía es un término que lejos de ser muy conocido es muy necesario en la cotidianidad del ser humano; es por ello que hago mención de una de sus formas más comunes como lo es la electricidad. Si bien es tan común, es además una de las formas más nobles con el ambiente pero no basta saber eso, sería bastante gratificante conocer cómo se origina y el porqué de su uso en la actualidad como un pilar de las grandes fuentes de energía disponibles en nuestro planeta.

La energía eléctrica es tan esencial para las diversas actividades del hombre que un gran porcentaje de todos los dispositivos que se usan son de tipo eléctricos y dicho funcionamiento no ha sido sustituido por otra forma de energía que cumpla con las exigencias de hoy. Cabe mencionar, que el hombre ha intentado obtener este tipo de energía de diversas manifestaciones tangibles que hay en el planeta, una de esas formas son la generación: eólica, termoeléctrica, hidroeléctrica, nucleoelectrica etc.

Para la siguiente residencia presentada nos enfocaremos en las centrales hidroeléctricas que obtienen la energía eléctrica a partir de la energía potencial o cinética de un fluido (agua). Siendo un tanto más específicos podemos hacer referencia a la “central hidroeléctrica Manuel Moreno Torres” que en su caso utiliza la altura o salto del cual se aprovecha la energía de presión para que sea transformada en energía cinética y a partir de un rodete tipo Francis junto con sus aditamentos mecánicos se transforme en energía mecánica para poder finalmente transformada en energía eléctrica.

No obstante toda empresa, industria o planta tiene como bases de su buen funcionamiento el mantenimiento, que ayuda a toda empresa a que sus procesos y máquinas tengan buena eficiencia y por tanto recurran en algunos casos al MANTENIMIENTO TOTAL. Dicho mantenimiento está caracterizado con una serie de actividades que intervienen para desmontar, reparar y montar a un dispositivo, mecanismo o elementos de trabajo en paro total con el fin de mantener su eficiencia mecánica, eléctrica o térmica según sea el elemento de trabajo.

El siguiente proyecto ambiciona describir un procedimiento y la secuencia de desmontaje, la reparación o limpieza y el montaje para una unidad generadora de 300



MW que facilite al mantenimiento total que es requerido en cada unidad de las 8 disponibles que existen entre la primera y segunda etapa en la central Hidroeléctrica Manuel Moreno Torres (CFE) con , dicho procedimiento intenta reducir el tiempo muerto, incertidumbre en las actividades y proporcionar una mayor eficiencia y organización del personal que hará dicho mantenimiento evitando riesgos.



## **2.0 JUSTIFICACIÓN.**

La Subgerencia de Generación Hidroeléctrica Grijalva tiene un organismo que controla a la central Hidroeléctrica Manuel Moreno Torres llamado Centro Nacional de Control de Energía (CENASE) que es quien permite y autoriza a diversas centrales para realizar la generación o el mantenimiento a las unidades en cada central debido a que en todo el año CFE tiene la obligación de satisfacer las demandas de electricidad y es por ello que cada labor realizada en lapso correspondido.

No obstante es necesario cumplir con los mantenimientos según los planes que el CENACE tiene previstos en forma anual, mensual etc.; y para ello los procedimientos y cronogramas deben estar disponibles en tal manera que los trabajadores de CFE puedan cumplir con las demandas de la sociedad es por ello que es necesario realizar este proyecto y poder así resolver las necesidades de información disponible para llevar a cabo el mantenimiento total que implica un paro programado en la central hidroeléctrica.

Entiéndase que desde 1980 que la C.H.M.M.T entró en operación se han hecho mantenimientos correctivos, preventivos y totales, para ello muchos de los trabajadores de esa generación están por jubilarse y es por ende que los nuevos trabajadores necesitarán adaptarse no sólo a las actividades sino a las exigencias a las que la central está expuesta y pues es muy importante y un tanto imprescindible que exista un manual o procedimiento del desmontaje, secuencias, reparación y montaje disponible y sencillo para que están inmersos en el mantenimiento total a cada unidad generadora de la Comisión Federal de Electricidad.



### **3.0 OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS.**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL:**

El objeto del siguiente trabajo es elaborar un procedimiento que describa una serie de actividades tan necesarias para realizar un mantenimiento total a una unidad generadora de 300 MW a la C.H.M.M.T. tomando en cuenta las secuencias de desmontaje, reparación de dispositivos o mecanismos junto con los materiales y el montaje, considerando las maniobras necesarias y seguras a fin de que sea eficiente para la planta así como para personal y consumidor.

#### **3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO:**

El objetivo específico de la presente residencia es proporcionar a la C.H.M.M.T un manual de cómo iniciar la libranza en una unidad generadora de la primera etapa tal que indique los pasos a seguir en actividades primordiales y específicas, informar al lector las consideraciones necesarias para poder operar y de cierta manera apegarse a un reglamento emitido por CFE para que a su vez no se corran riesgos ni actos inseguros. Otra finalidad específica es la de indicar de forma inmediata el material empleado, la herramienta y los equipos o dispositivos para poder maniobrar y/o hacer limpieza y reparación en cada uno de los equipos mecánicos que son componentes de la unidad generadora. En efecto se pretende además indicar que partes están más sujetas a esfuerzos y a pesos tal que pudieran crear un ambiente de peligro por la magnitud en las dimensiones de los dispositivos.

## 4.0 CARACTERIZACIÓN DE LA EMPRESA Y ÁREA DE PARTICIPACIÓN.

### 4.1 LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA ING. MANUEL MORENO TORRES



Figura 1.- Central hidroeléctrica Manuel Moreno Torres.

La central Hidroeléctrica Ing. Manuel Moreno Torres está situada sobre la cuenca del río Grijalva en el estado de Chiapas, que se le considera parte del sistema de aprovechamiento hidráulico del río. Esta central hidroeléctrica lleva también el nombre del Ing. Manuel Moreno Torres, quien fue Director General de CFE durante el sexenio del presidente Adolfo López Mateos (1958-1964) y fue uno de los principales impulsores del proyecto nucleoelectrico de Laguna Verde. El antes mencionado aprovechamiento se usa una caída de 246 m que tiene su origen entre el nivel máximo de operación de la central hidroeléctrica malpaso y el desfogue de la angostura.

El agua de la presa es conducida por una tubería hasta el rodete de la turbina hidráulica. La fuerza del agua hace girar los álabes o aspas de la energía potencial del agua en energía cinética, que se transforma en energía mecánica. El rodete de la turbina tiene acoplado un generador eléctrico, que transforma la energía mecánica en eléctrica.

La central cuenta con cinco unidades turbogeneradoras de 300 MW cada una, para una capacidad instalada total de 1,500 MW. Estas unidades entraron en operación comercial en distintos meses de 1980 y 1981. La central hidroeléctrica CHICOASÉN diseñada para cubrir una demanda de energía de picos en el Sistema Interconectado Nacional tiene su cortina tipo enrocamiento con una altura de 246m. Dicha central





subterránea desde su consideración inicial y diseño para ocho unidades generadoras de 300 MW, iniciando sus actividades normales con 5 unidades disponibles con la capacidad instalada. Desde 1980 cinco unidades tipo Francis de la marca Mitsubishi

## **4.2 HIDROLOGÍA: OBRAS PRINCIPALES**

### **4.2.1 OBRA DE EXCEDENCIAS**

Tómese en cuenta la avenida de diseño de 17,400 m<sup>3</sup>/seg así como las características de la cortina y condiciones de suelo (topográfico) del sitio se tomaron para el diseño las siguientes alternativas de construcción ingenieril.

### **4.2.2 VERTEDORES**

Consta de 3 túneles y de 3 compuertas por túnel con las siguientes características

Longitud: 1,300 metros.

Diámetro: 15 metros.

Cresta 75.60 metros.

Elevación de cresta: 373 msnm.

Avenida de diseño: 17,400 m<sup>3</sup>/seg.

Descarga máxima: 15,000 m<sup>3</sup>/seg.

### **4.2.3 CORTINA**



Figura 2.- Cortina de CFE Chicoasén.



Tipo: enrocamiento.

Elevación de corona: 402 msnm.

Altura: 262 metros.

Ancho corona: 25 metros.

Longitud de corona: 482 metros.

Volumen total: 15.37 millones de m<sup>3</sup>.

Donde: msnm=metros sobre el nivel del mar.

#### **4.2.4 OBRA DE TOMA**



Figura 3.- Obra de toma.

Número de tomas: 8

Gasto de diseño: 186.7 m<sup>3</sup>/seg

Compuerta: (7.45) \*(6.8) metros

Diámetro del túnel: 6.70 metros



Longitud promedio de túneles: 235 metros

Tubería de presión: 4.58 metros de diámetro

Espesor de placa: 22 a 24 mm

Longitud de camisa metálica: 205 metros

#### **4.2.5 CONDUCCIÓN A PRESIÓN**

Consta de 8 conducciones principales referidas al número de unidades generadoras de la central hidroeléctrica dividida en 2 etapas pero que corresponden a un mismo diseño porque tómesese en consideración que se plantea hacer un suministro constante de generación eléctrica.

Sección inicial de transición 15.00 m de longitud, que se inicia en una sección de (6.7 x6.7) metros cuadrados y termina en una sección circular de 6.2 m de diámetro

Para la segunda etapa inicia con una sección circular de 6.2 metros de diámetro terminando con otro de 4.78 m de diámetro.

#### **4.2.6 CASA DE MÁQUINAS**

PISO PRINCIPAL

Longitud: 199 metros

Ancho: 20.35 metros

Altura: 17.38 metros

Dos grúas de 270 toneladas y dos más de 40 ton.





Figura 4.- Interior de casa de máquina: playa de montaje



Figura 5.- Entrada a casa de máquinas chicoasén.

#### **4.2.7 GALERÍA DE TRANSFORMADORES**

Ubicada en el mismo nivel de playa de montaje;

Aloja a los transformadores de potencia que elevan el voltaje de 17 Kv hasta 400 Kv para interconectarse a la red nacional de 400 Kv.

#### **4.2.8 GALERÍA DE OSCILACIÓN**

Se localiza en el eje de esta a 142 m aguas debajo del eje de la cortina y a 70 m del de casa de máquinas

Consta de dos galerías debido al número de las tapas la primera para las unidades 3, 4 y 5 y la segunda para las unidades 1, 2, 6, 7 y 8.

#### **4.2.9 TÚNELES DE DESFOGUE**

El agua turbinada se conduce hacia el río por 3 túneles de desfogue

Túneles 1 y 2, unidades 1, 2, 6, 7 y 8

Túnel 3, unidades 3, 4 y 5

#### **4.2.10 VASO**

Área cuenca: 7,940 km<sup>2</sup>

Escurrencimiento medio anual: 1,347 Mm<sup>3</sup>

Gasto medio anual: 413 m<sup>3</sup>/seg



Avenida máxima registrada: 6,214 m<sup>3</sup>/seg

Capacidad al NAME: 1,705 Mm<sup>3</sup>

Capacidad útil: 270 Mm<sup>3</sup>

Nivel de aguas máximo extraordinario: 395 metros

Nivel de aguas máximo de operación: 392 msnm

Nivel de aguas mínimo de operación: 380 msnm

#### **4.2.11 SUBESTACIÓN ELÉCTRICA**



Figura 6.- Subestación eléctrica.

Se encarga de la recepción de la generación que es asistida y controlada por los transformadores que van conectados a través de un sistema de buses de 400 kv.

#### **4.2.12 LOCALIZACIÓN:**

La central hidroeléctrica Manuel Moreno Torres “Chicoasén” se encuentra a 43 km. Al norte de la ciudad capital Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

Sus coordenadas geográficas del sitio son:

Longitud oeste: 93° 5, 9”.

Longitud norte: 16° 36, 5”.

La carretera principal que aloja su acceso es la carretera No. 102 que va de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez a la central, dicha carretera tiene por sobrenombre “carretera Tuxtla -Chicoasén”.



#### **4.3 ÁREA DE PARTICIPACIÓN Y DE TRABAJO:**

El departamento mecánico de la Central Hidroeléctrica Manuel Moreno Torres lo integran:

- personal de confianza:
  - 1 jefe del departamento mecánico (ingeniero mecánico).
  - 1 auxiliares del departamento mecánico (ingenieros mecánicos).
- personal sindicalizado:
  - 1 jefe de mantenimiento.
  - 4 técnicos superiores.
  - 1 técnico.
  - 5 auxiliares de mantenimiento.
  - 8 ayudantes.
  - 1 oficinista.



## 5.0 PROBLEMAS A RESOLVER.

Conforme se va avanzando en el mantenimiento se descubren fallas en los planes debido a que muchas veces los planteamientos parten de especulaciones e incluso se comenten errores por falta de información. Gran parte de los males entendidos que surgen de un departamento a otro, y es muy común que no exista integración, La CFE propone dentro de sus lineamientos la norma de mejora continua y calidad es por ello que recurre al SIG(Sistema Integral de Gestión) que no es más que un programa que pretende que toda la empresa busque como fin común satisfacer la demanda social no como una coordinación de varios departamentos sino como un mismo miembro bien sincronizado que integra todas sus partes para ser eficientes mayor posible en cuanto a lo planeado y desde otro punto ser eficaces en función del tiempo.

Uno de los inconvenientes muy comunes dentro de la libranza en la C.H.M.M.T. que afecta y desvía los tiempos en el mantenimiento mayor es que el personal especializado en cada labor trunca el seguimiento de actividades por el hecho de que el titular de la actividad tiene derecho a sus vacaciones y es ese mismo punto el que hace que el personal remplazante pierda tiempo en adaptarse al ritmo del plan general de desmontaje y/o montaje, y es así cambios en el personal hacen que existan tiempos muertos entre una actividad y otra.

Es por ello que dicho procedimiento a plantear y proporcionar intenta resolver los problemas de:

- Pasividad o tiempo muerto entre actividades una y otra, ya que el trabajador de base de la actividad y el remplazante pudieran diferir cuando se presentan salidas, incapacidad, días festivos o vacaciones.
- La falta de comunicación entre departamento civil, mecánico y eléctrico debido a que existen actividades específicas donde un departamento puede ser excluido por ser, en cierta manera, ajeno al ámbito de operación de otro; como resulta el rotor que es una pieza mecánica pero a su vez es un elemento de tipo eléctrico por ser el inductor de imanes que forman la electricidad.
- Falta de una secuencia lógica en el mantenimiento debido a que muchas veces se realiza el mantenimiento por recuerdos y no por información disponible



resultando un ambiente de incertidumbre entre las maniobras a realizar dentro del programa que la central tiene.

- Falta de sincronía entre los contratistas especializados que llevan a cabo parte del mantenimiento propio de la central, ya que muchas veces hay gran diferencia entre los lineamientos que rigen a cada empresa.





## **6.0 ALCANCES Y LIMITACIONES.**

El alcance esperado del siguiente trabajo que el lector puede apreciar es que Existen manuales del fabricante que favorecen el replanteamiento en el mantenimiento, las secuencias de desmontaje y montaje, y además, el modo operativo, descriptivo e ingenieril de cada unidad generadora. No obstante incluso la central hidroeléctrica Chicoasén goza de un banco de información de cómo llevar a cabo sus actividades, existen cursos prácticos para el personal de confianza que está a cargo que facilitan el modo de satisfacer los requisitos como empresa.

En efecto se desea en proximidad reunir la información disponible, plantear, recabar, innovar las formas óptimas tal que para el que disponga de dicho procedimiento tenga convicción en lo que hace sabiendo que es un trabajo que tiene su origen en fuentes de información del fabricante y la central, en manera oportuna se pretende propiciar al personal y a la base de datos de la C.H.M.M.T. un procedimiento entendible tal que sea entendido por el personal de confianza y por el personal sindicalizado en un lenguaje adecuado y que no pierda su objetividad y carácter descriptivo.

Las limitaciones del proyecto consisten en que las actividades son numerosas y pues resultaría bastante complicado para una persona que lleva a cabo el proyecto estar en todas las actividades y en todos los horarios en el mismo lugar y hora, debido a que se hacen turnos dobles y extras. Además existen maniobras de emergencia que para el residente es imposible estar debido a que no tiene un aporte físico y muchas de las veces no puede incluirsele.

Otra desventaja es que algunos contratistas no aportan toda la información que resultaría gratificante para el proyecto, muchos de los obreros externos celan la información por el hecho de que sus lineamientos establecidos así lo marcan, por su parte el periodo de residencia abarca el periodo AGO-DIC 2012 Y de manera distinta el mantenimiento tiene una duración aproximada de 10 meses en el periodo JUL 2012/ABRIL2013. Entonces es imposible abarcar a un 100% las actividades pertinentes y maniobras que integran a dicho procedimiento.



## 7.0 FUNDAMENTO TEÓRICO.

### 7.1 TURBINA FRANCIS

La **turbina Francis** fue desarrollada por James B. Francis.. Se trata de una turbomáquina motora a reacción y de flujo mixto Las turbinas Francis son turbinas hidráulicas que se pueden diseñar para un amplio rango de saltos y caudales, siendo capaces de operar en rangos de desnivel que van de los dos metros hasta varios cientos de metros. Esto, junto con su alta eficiencia, ha hecho que este tipo de turbina sea el más ampliamente usado en el mundo, principalmente para la producción de energía eléctrica mediante centrales hidroeléctricas

### 7.2 DESARROLLO

Las norias y turbinas hidráulicas han sido usadas históricamente para accionar molinos de diversos tipos, aunque eran bastante ineficientes. En el siglo XIX las mejoras logradas en las turbinas hidráulicas permitieron que, allí donde se disponía de un salto de agua, pudiesen competir con la máquina de vapor.

En 1826 Benoit Fourneyron desarrolló una turbina de flujo externo de alta eficiencia (80%). El agua era dirigida tangencialmente a través del rodete de la turbina provocando su giro. Alrededor de 1820 Jean V. Poncelet diseñó una turbina de flujo interno que usaba los mismos principios, y S. B. Howd obtuvo en 1838 una patente en los EE.UU. para un diseño similar.

En 1848 James B. Francis mejoró estos diseños y desarrolló una turbina con el 90% de eficiencia. Aplicó principios y métodos de prueba científicos para producir la turbina más eficiente elaborada hasta la fecha. Más importante, sus métodos matemáticos y gráficos de cálculo mejoraron el nivel de desarrollo alcanzado (estado del arte) en lo referente al diseño e ingeniería de turbinas. Sus métodos analíticos permitieron diseños seguros de turbinas de alta eficiencia.

### 7.3 PARTES

#### 7.3.1 CAJA ESPIRAL

Tiene como función distribuir uniformemente el fluido en la entrada del rodete de una turbina



### 7.3.2 PREDISTRIBUIDOR

Tienen una función netamente estructural, para mantener la estructura de la caja espiral, tienen una forma hidrodinámica para minimizar las pérdidas hidráulicas.

### 7.3.3 DISTRIBUIDOR

Es el nombre con que se conocen los álabes directores de la turbomáquina, su función es regular el caudal que entra en la turbina, a la vez de direccionar al fluido para mejorar el rendimiento de la máquina. Este recibe el nombre de distribuidor Fink.

### 7.3.4 ROTOR

Es el corazón de la turbina, ya que aquí tiene lugar el intercambio de energía entre la máquina y el fluido, pueden tener diversas formas dependiendo del número de giros específico para el cual está diseñada la máquina.

### 7.3.5 TUBO DE ASPIRACIÓN

Es la salida de la turbina. Su función es darle continuidad al flujo y recuperar el salto perdido en las instalaciones que están por encima del nivel de agua a la salida. En general se construye en forma de difusor, para generar un efecto de aspiración, el cual recupera parte de la energía que no fuera entregada al rotor en su ausencia.

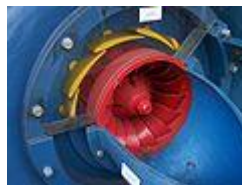


Figura 7.- Álabes directores (en color amarillo) configurados para mínimo caudal (vista interior).

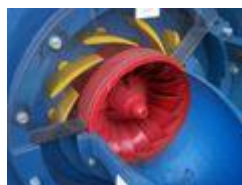


Figura 8.- Álabes directores (en color amarillo) configurados para máximo caudal (vista interior).



Figura 9.- Rodete de una turbina Francis, Presa Grand Coulee.



Figura 10.- Espiral de entrada de una turbina Francis, Presa Grand Coulee.

### 7.3.6 TIPOS DE TURBINAS FRANCIS

- Turbina Francis lenta. Para saltos de gran altura (alrededor de 200 m o más).
- Turbina Francis normal. Indicada en saltos de altura media (entre 200 y 20 m)
- Turbinas Francis rápidas y extra-rápidas. Apropriadas a saltos de pequeña altura (inferiores a 20 m).

Las turbinas Francis, son de rendimiento óptimo, pero solamente entre unos determinados márgenes (para 60 % y 100 % del caudal máximo), siendo una de las razones por la que se disponen varias unidades en cada central, al objeto de que ninguna trabaje, individualmente, por debajo de valores del 60 % de la carga total.

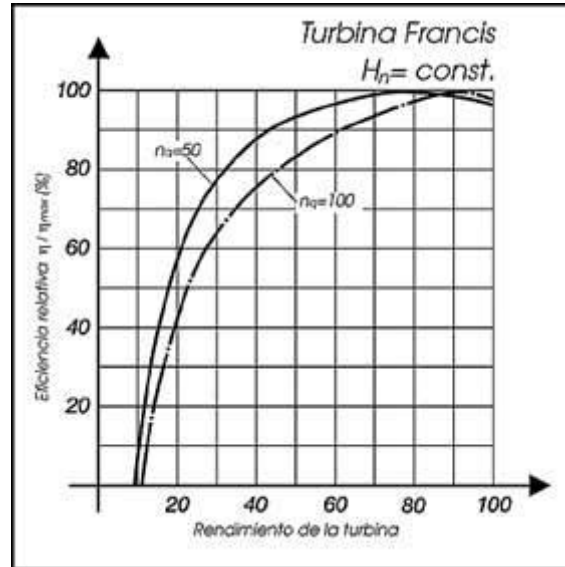


Figura 11.- Curva de rendimiento de una turbina Francis

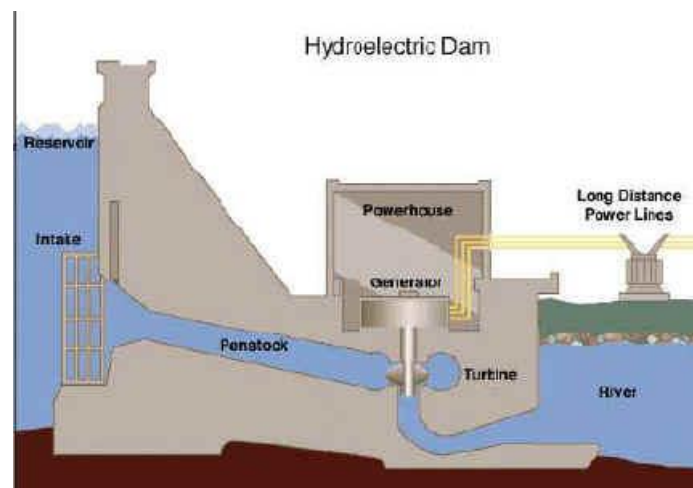


Figura 12.- Bosquejo del funcionamiento de una turbina Francis.

Podemos considerar, por lo tanto, la presencia de una columna de agua continua, entre los distintos niveles de los extremos mencionados, embalse y salida de agua, deduciendo que la turbina está totalmente llena de agua. Según otras disposiciones de instalación, especialmente en saltos de muy poca altura, podríamos interpretar que se halla sumergida, tal es el caso de no disponer de cámara espiral, encontrándose instalado el rodete en el interior de una cámara abierta, normalmente de hormigón, enlazada directamente con la zona de toma de agua o embalse.

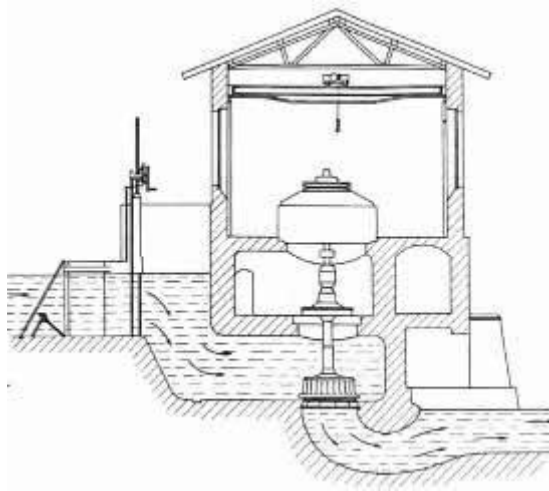


Figura 13.- Turbina Francis de eje vertical en cámara abierta.

Al igual que las turbinas Pelton, las turbinas Francis pueden ser instaladas con el eje en posición horizontal, o vertical, siendo esta última disposición la más generalizada por estar ampliamente experimentada, especialmente en el caso de unidades de gran potencia. Para describirlas, nos basaremos en turbinas de eje vertical.

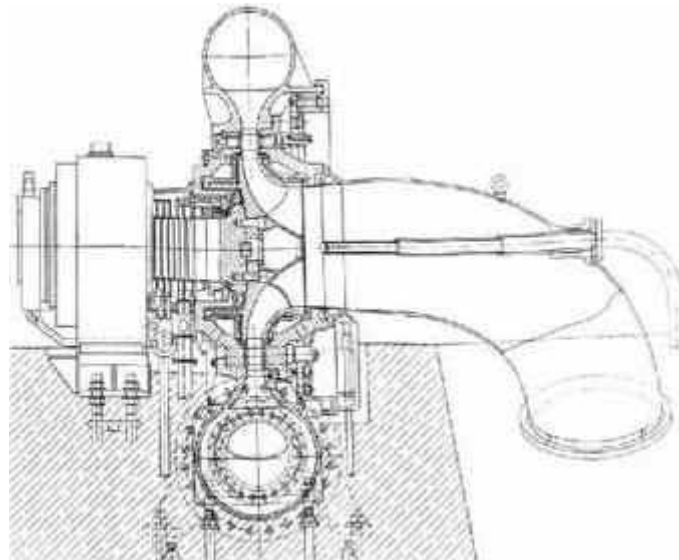


Figura 14.- Turbina Francis de eje horizontal.

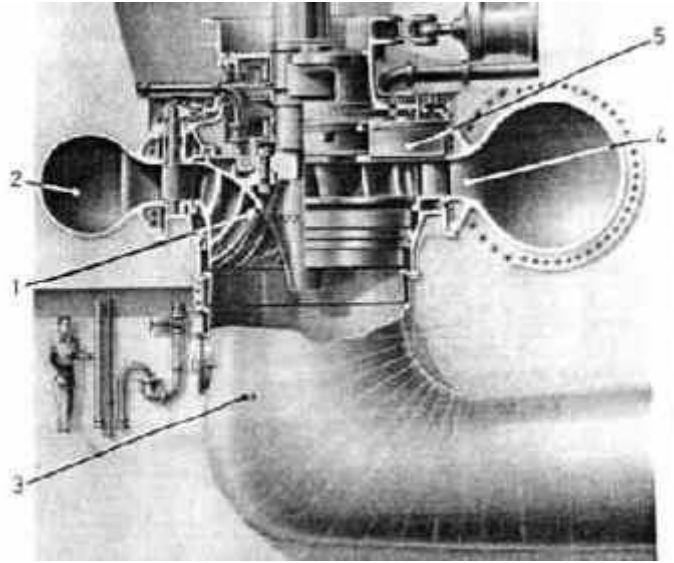


Figura 15.- Turbina Francis de eje vertical.

Componentes de una turbina Francis.

- Cámara espiral.
- Distribuidor.
- Rodete.
- Tubo de aspiración
- Eje.
- Equipo de sellado del eje de turbina.
- Cojinete guía de turbina.
- Cojinete de empuje.

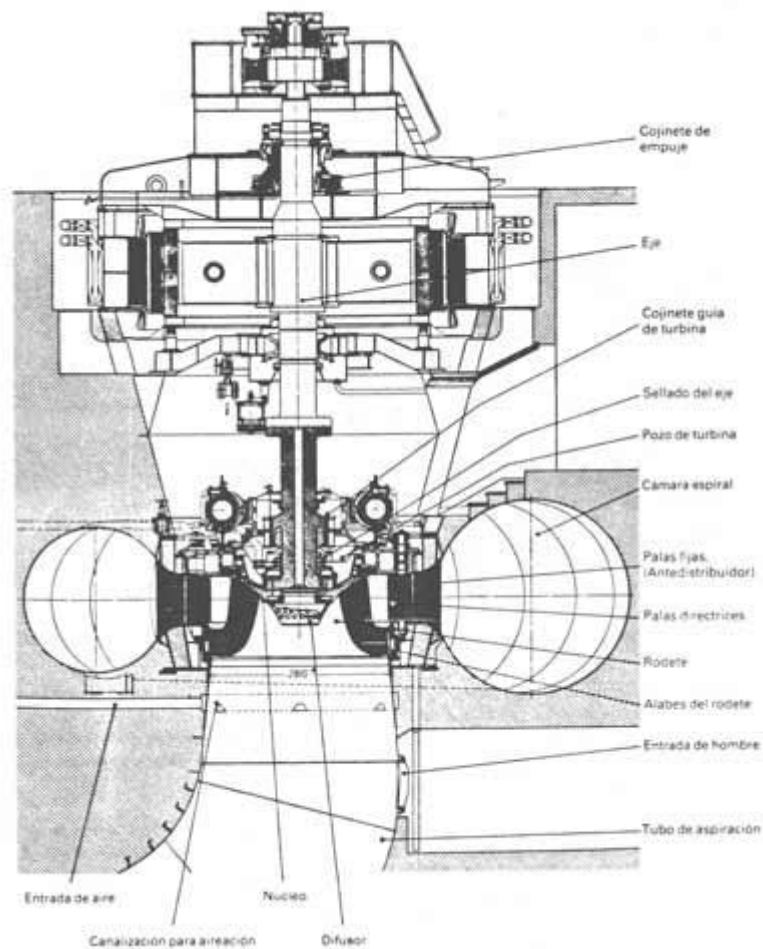


Figura 16.- Componentes de una turbina Francis de eje vertical.

Está constituida por la unión sucesiva de una serie de virolas tronco-cónicas, cuyos ejes respectivos forman una espiral. Desde el acoplamiento con la tubería forzada, donde el diámetro interior de la virola correspondiente alcanza su valor máximo, la sección interior, circular en la mayoría de los casos, va decreciendo paulatinamente hasta la virola que realiza el cierre de la cámara sobre sí misma, cuyo diámetro interior se reduce considerablemente (Fig. 24). Esta disposición se conoce como el caracol de la turbina, en el que, debido a su diseño, se consigue que el agua circule con velocidad aparentemente constante y sin formar torbellinos, evitándose pérdidas de carga.





Figura 17.- carcaza espiral.

Todo el conjunto; construido con chapas de acero unidas, actualmente, mediante soldadura; suele estar rígidamente sujeto en la obra de hormigón de la central, por sus zonas periféricas externas, consideradas como tales las alejadas del centro de la turbina. Antes de proceder al hormigonado exterior de la cámara, ésta se somete a presión con agua.

### **7.3.7 DISTRIBUIDOR DE UNA TURBINA FRANCIS.**

El distribuidor propiamente dicho, está formado por un determinado número de palas móviles, cuyo conjunto constituye un anillo que está situado concéntricamente y entre las mismas cotas en altura que el antedistribuidor, descrito al exponer la cámara espiral, siendo, en definitiva, camino continuado del agua en su recorrido hacia el centro de la turbina.

Su función es la de distribuir, y regular o cortar totalmente, el caudal de agua que fluye hacia el rodete. Los elementos componentes más destacados del distribuidor son: álabes directrices. Son las palas móviles a las que anteriormente se hacía referencia. También se las suele llamar paletas directrices.

Cada una de ellas, al unísono con las demás, puede orientarse, dentro de ciertos límites, al girar su eje respectivo, pasando de la posición de cerrado total, cuando están solapadas unas palas sobre otras, a la de máxima apertura que corresponde al desplazamiento extremo, tendiendo a quedar en dirección radial y manteniendo, entre sí.

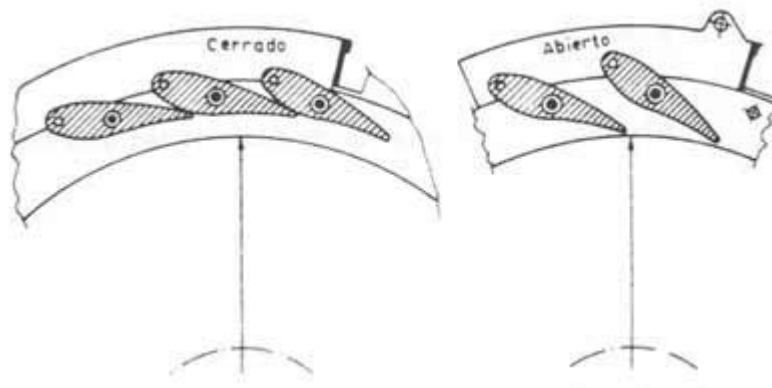


Figura 18.- Detalles posiciones, cerrado o abierto, de las palas directrices del distribuidor.

Los ejes de las patas, a modo de generatrices del anillo que compone el distribuidor, están asentados por su parte inferior en cojinetes situados en una corona circular denominada escudo inferior, y guiados en su parte superior por cojinetes dispuestos en la llamada tapa de turbina, o en otra corona circular, escudo superior. Dichos cojinetes, conocidos como cojinetes bocines, disponen de un adecuado sistema de engrase. Este no es necesario cuando los cojinetes son de teflón.

Dado que cada pala ha de quedar perfectamente centrada axialmente, entre los escudos, se disponen mecanismos, de distinta índole, que permiten regular durante el montaje la suspensión de la misma; de modo que no existan rozamientos, ni holguras excesivas que pueden provocar pérdidas de carga.

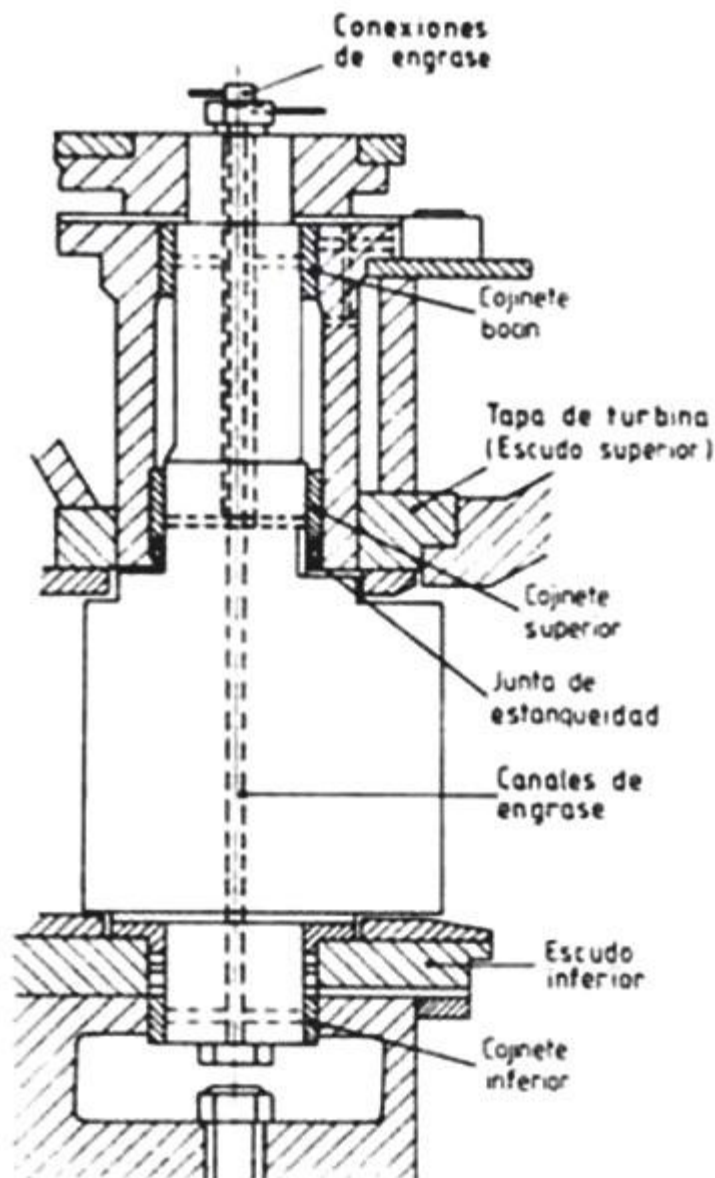


Figura 19.- Situación de una pala directriz o álabe móvil.

En la parte superior de cada eje, se instalan juntas de estanqueidad, para evitar el paso de agua. Todas las palas directrices, cuyo número oscila aproximadamente entre 12 para las turbinas pequeñas y 24 para las grandes, son exactamente iguales y conservan entre sí idénticas posiciones respecto al eje de turbina. Las generatrices de cada pata, paralelas al eje de giro pero no concéntricas con él, desarrollan formas de configuración cilíndrica.

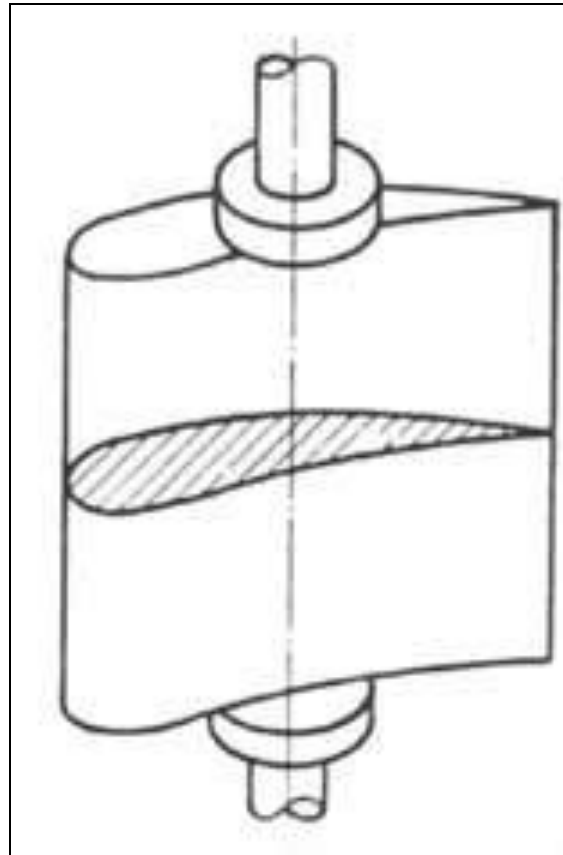


Figura 20.- Álabes directrices.

### 7.3.8 EQUIPO DE ACCIONAMIENTO DE ÁLABES DIRECTRICES.

Se trata de un conjunto de dispositivos mecánicos, a base de servomecanismos, palancas y bielas, que constituyen el equipo de regulación de la turbina, gobernado por el regulador de velocidad.

### 7.3.9 SERVOMOTORES.

Normalmente son dos, cada uno de los cuales, accionado por aceite a presión según órdenes recibidas del regulador, desplaza una gran biela, en sentido inverso una respecto de la otra, a modo de brazos de un par de fuerzas, proporcionando un movimiento de giro alternativo a un aro móvil, llamado anillo o volante de distribución, concéntrico con el eje de la turbina. El giro conjunto y uniforme de las palas directrices, permite variar la sección de paso de agua a través del distribuidor.

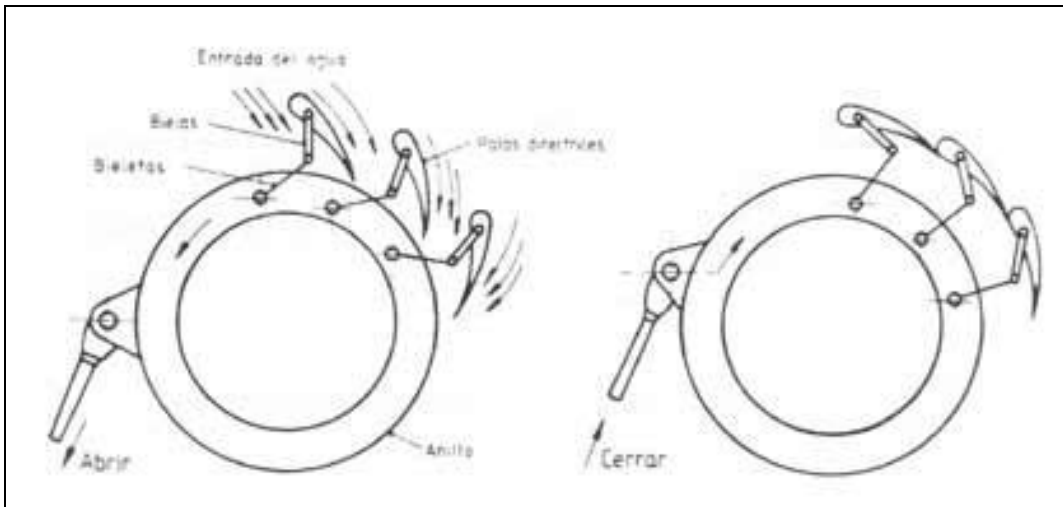


Figura 21.- Accionamiento de las palas directrices con el anillo de distribución.

Las palancas mencionadas reciben el nombre de bielas, según el sentido desde el anillo de distribución hacia las palas directrices.

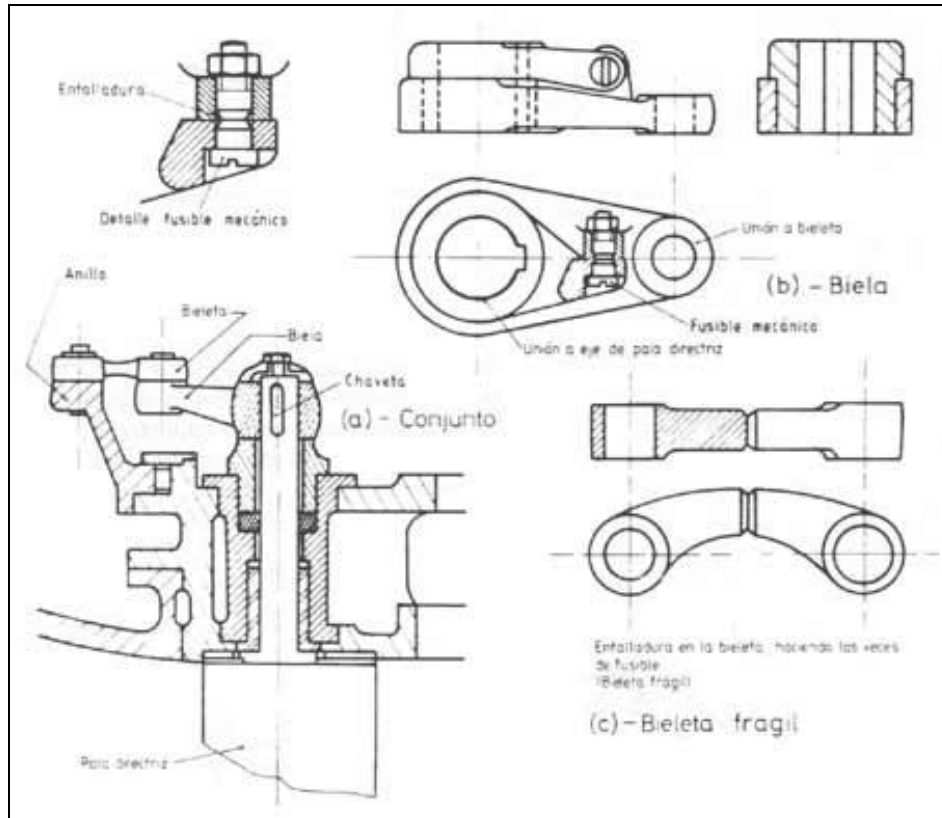


Figura 22.- Elementos de accionamiento de las palas directrices.

#### 7.4 TIPOS DE MANTENIMIENTO:

Entiéndase que para lograr el buen funcionamiento de una sistema dentro de una empresa e incluso para una central hidroeléctrica para el caso específico del proyecto, es necesario conocer la importancia del mantenimiento y atendemos en que éste permite mantener la eficiencia de un equipo en operación a fin de alargar su durabilidad y con ello beneficiar los objetivos y metas de la empresa.

Para haremos mención a los tipos de mantenimiento y porqué elegimos el mantenimiento total.

**Mantenimiento correctivo:** Es el conjunto de tareas destinadas a corregir los defectos que se van presentando en los distintos equipos y que son comunicados al departamento de mantenimiento por los usuarios de los mismos.

**Mantenimiento Preventivo:** Es el mantenimiento que tiene por misión mantener un nivel de servicio determinado en los equipos, programando las intervenciones de sus puntos vulnerables en el momento más oportuno. Suele tener un carácter sistemático,



es decir, se interviene aunque el equipo no haya dado ningún síntoma de tener un problema

*Mantenimiento Predictivo:* Es el que persigue conocer e informar permanentemente del estado y operatividad de las instalaciones mediante el conocimiento de los valores de determinadas variables, representativas de tal estado y operatividad. Para aplicar este mantenimiento, es necesario identificar variables físicas (temperatura, vibración, consumo de energía, etc.) cuya variación sea indicativa de problemas que puedan estar apareciendo en el equipo. Es el tipo de mantenimiento más tecnológico, pues requiere de medios técnicos avanzados, y en ocasiones, de fuertes conocimientos matemáticos físicos y/o técnicos

- *Mantenimiento Cero Horas (Overhaul):* Es el conjunto de tareas cuyo objetivo es revisar los equipos a intervalos programados bien antes de que aparezca ningún fallo, bien cuando la fiabilidad del equipo ha disminuido apreciablemente de manera que resulta arriesgado hacer previsiones sobre su capacidad productiva. Dicha revisión consiste en dejar el equipo a Cero horas de funcionamiento, es decir, como si el equipo fuera nuevo. En estas revisiones se sustituyen o se reparan todos los elementos sometidos a desgaste.
- *Mantenimiento En Uso:* es el mantenimiento básico de un equipo realizado por los usuarios del mismo. Consiste en una serie de tareas elementales (tomas de datos, inspecciones visuales, limpieza, lubricación, reapriete de tornillos) para las que no es necesario una gran formación, sino tal solo un entrenamiento breve. Este tipo de mantenimiento es la base del TPM (Total Productive Maintenance, Mantenimiento Productivo Total).

El *manual de procedimientos* puede definirse como una descripción precisa de cómo deben desarrollarse las actividades de cada empresa. Además puede ser entendido como una herramienta física o intangible que Ha de ser un documento interno, del que se debe registrar y controlar las copias que de los mismos se realizan. Complementando al manual de procedimientos, están las instrucciones de trabajo que completan o detallan los procedimientos, ya que se utilizan para documentar procesos específicos.



Un manual de procedimientos es el documento que contiene la descripción de actividades que deben seguirse en la realización de las funciones de una unidad administrativa.

## 7.5 CARACTERÍSTICAS DE LA TURBINA DE LA CUAL SE INICIARÁ EL PROCEDIMIENTO QUE DIO ORIGEN AL PROYECTO.

Máquina 651 fecha 1978

Turbina hidráulica

Capacidad: 318,000 306,000 280,000 kW.

Caída: 185.00 176.00 164.85

Descarga. 184.1 186.7 182.4

Velocidad: 163.64 rpm

Velocidad de desboque 296 rpm

MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES LTD TOKYO JAPAN

Capacidad indicada:

<b>Salto neto</b>	<b>Metros</b>	<b>185</b>	<b>176</b>	<b>164.85</b>
<b>Potencia de salida</b>	<b>Cv</b>	433,000	416,000	381,000
<b>Descarga</b>	<b>M<sup>3</sup>/S</b>	184.1	186.7	182.4
<b>Velocidad</b>	<b>Rpm</b>	163.64	163.64	163.64

Tabla 1.- Potencia de la turbina.





## RENDIMIENTO DE LA TURBINA.

### Velocidad de desboque o embalamiento.

La velocidad de desboque, cuando operando con la aleta distribuidora completamente abierta bajo un salto neto de 185 metros con carga nula sobre el generador excepto rozamiento y fricción del aire, será no superior a 296 rpm.

### Elevación de presión

La elevación máxima resultante de presión no será superior a 35% sobre el salto neto máximo operacional de 185 metros. El efecto volante de la turbina y del generador es aproximadamente de 39,000 toneladas  $m^2$ . El tiempo de cierre del regulador de velocidad será ajustado a 5.6 segundos.

Fuerza de empuje: La fuerza de empuje axial de desequilibrio máximo probable, incluyéndose partes rotatorias de la turbina con el intersticio del anillo de desgaste a doble del valor de diseño original será de 1,110 toneladas y ha de ser soportada por la chumacera de carga o empuje.

### Datos técnicos:

- 1) Diámetro máximo exterior de la rueda motriz: 5,446 mm.
- 2) Diámetro de descarga de la rueda motriz: 4,802 mm.
- 3) Capacidad nominal del servomotor bajo un salto máximo de 250 metros, incluso el arietazo :  $116.2 \times 10^3$  kg-m
- 4) Peso total de las partes rotatorias de la turbina: 165 toneladas
- 5) Diámetro de la tapa superior de la turbina: 6,470 mm.
- 6) Diámetro de la entrada de la carcasa espiral: 4,580 mm
- 7) Distancia desde la línea central transversal de la unidad hasta la línea central de la entrada de carcasa espiral: 5,930 mm.
- 8) Cubaje total de los cilindros del servomotor para carrera máxima:  $0.255 m^3$ .
- 9) Temperatura máxima del aceite de la chumacera de guía:  $60^\circ C$ .
- 10) Temperatura máxima del agua de enfriamiento:  $27^\circ C$ .
- 11) Velocidad del gasto del agua de enfriamiento para chumacera de guía: 300 L/minuto.



- 12) Pérdida de presión a través de chaquetas de enfriamiento para la chumacera de guía:  $1.0 \text{ kg/cm}^2$
- 13) Cantidad del aceite lubricante: 3,500 litros.
- 14) Velocidad del gasto de agua de enfriamiento para el sello de agua de la flecha: 50 L/minuto.
- 15) Intersticio mínimo de pasajes de agua a través de la rueda motriz: 147.5 mm.
- 16) Peso neto y dimensiones de rueda motriz:
  - Peso 75 ton.
  - 5,300 mm de diámetro
  - 2,140 mm de alto.



## **8.0 PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS.**

Como parte de la residencia se dio inicio en la central con un recorrido junto con los ingenieros y algunos del personal sindicalizado a toda la central hidroeléctrica tomando en cuenta que áreas son las más importantes por así decirlo, considerando los posibles actos inseguros por falta de conocimientos. Además, fui resolviendo dudas de aquellas áreas restringidas para personal no autorizado en la central como lo es casa de máquinas, el porqué del equipo de seguridad etc.

Como parte de una primera y segunda semana fue una introducción a la central hidroeléctrica hago mención que para esas fechas el mantenimiento mayor ya había iniciado y por tanto las maniobras de desmontaje ya estaban llevándose a cabo. Como primeras actividades se me encomendó ligado con mi proyecto de residencia observar en inspeccionar de manera atenta cada maniobra, tomar fotos y de preferencia llevar una bitácora de las actividades, tomando datos desde la más simple hasta la más compleja.

Posterior a conocer un poco la central y de haber empezado a interactuar con el personal sindicalizado opté por adentrarme en las actividades haciendo preguntas sobre el mismo mantenimiento, considerando que no podría adentrarme a tanto porque eso conllevaría a pasar por alto las demás actividades ya que más de una actividad importante se llevaba a cabo.

Los primeros 50 días de la residencia aproximadamente los meses agosto, septiembre y octubre de este mismo año podría observarse que el periodo de mantenimiento entre dichos meses, era evidente que un 80% fue desmontar por lo que se hacían turnos extras para trabajadores sindicalizados y personal de confianza.

Posterior a dichos meses como lo es octubre y noviembre se realizó la limpieza, y mantenimiento a las piezas y sistemas que componen a la unidad generadora. En forma inmediata llegó diciembre para iniciar el montaje puro de elementos reparados y disponibles para la unidad generadora. La labor como residente es limitada al hecho de que no le es permitido meter mano en equipos, únicamente podíamos inspeccionar,



preguntar y resolver dudas en tanto estuviera al alcance del personal, es por ello que, nuestra labor era más de ir tomando notas de las labores, maniobras, sugerencias y algunas observaciones que los ingenieros hacían a los trabajadores técnicos o que en su defecto había un análisis de porque algunos procedimientos quedaban tajados de información o que impedían que los trabajadores desempeñaran su labores al 100% de su óptima función.

## 9.0 RESULTADOS, PLANOS, GRÁFICAS, PROTOTIPOS Y PROGRAMAS

### 9.1 EL PROGRAMA DE DESMONTAJE, REPARACIÓN Y MONTAJE

Antecedentes.

Programa de mantenimiento mayor del proyecto de paro programado.

Ejecución del programa (descripción de las actividades, incluyendo las desviaciones que se presentaron y como fueron atendidas de acuerdo al anexo 1).

El informe de mantenimiento va acompañado de la orden de trabajo y licencia de paro programado:

Licencia:\*201202281181

De acuerdo al programa tipo de mantenimiento mayor mecánico se indica las siguientes actividades para cualquier unidad de la primera etapa (1, 2, 3, 4 y 5) para máquinas Francis Mitsubishi:

#### I. DESMONTAJE

1. Efectuar maniobras de achique. Para hacer un paro total y así iniciar la libranza en la unidad



Figura 23.- Sistema de bombas de achique.

2. Apertura registro-hombre tubería de aspiración, caracol y limpieza.
3. Cierre obra de toma.
4. Colocar andamio en tubo de succión.
5. Tomar medidas de referencia de acuerdo a protocolo de montaje (partes fijas y móviles) como está la unidad antes del desmontaje.
6. Desmontar cubículo de anillos rozantes



Figura 24.- Cubículo de anillos rozantes.

7. Desmontar tapas antiderrapantes y estructura soporte.
8. Desmontar tolvas y aspas del generador.
9. Desmontar flecha de anillos rozantes parte superior de la unidad generadora.
10. Vaciar aceite de chumacera guía generador y chumacera guía turbina.
11. Desmontar chumaceras guía generador.
12. Desmontar araña (soporte de la chumacera guía generador).
13. Desmontar soportes de la araña 12 piezas radiales.



Figura 25.- Soporte de la chumacera guía generador.

14. Calzar y nivelar maza rotativa en rodete y rotor.
15. Se despresuriza tanque acumulador del sistema de regulación.
16. Vaciar aceite de la chumacera guía generador y se desmonta 8 segmentos de las misma chumacera dejando 4 con holgura de 00.20 mm.
17. Retirar piso de frenado.
18. Se desmontan 8 gatos de frenado quitando resortes y birlos y se le cambian los sellos.
19. Retirar bulones de acoplamiento de flecha generador-turbina (flecha hueca) y volver a izar rotor para liberar bridas de acoplamiento turbina generador.

Bulones fecha rotor son 22



piezas.

Figura 26.- Pernos de acoplamiento flecha generador turbina.

20. Desmontar bulones flecha-rotor. 22 piezas



Figura 27.- Bulones flecha rotor.

21. Desmontar cuñas del laminado y brazos de la estrella del rotor.
22. Desmontar estrella.
23. Desmontar el rotor con el dispositivo especial de izaje y usando las 2 grúas de 270 toneladas y sincronizadas porque el rotor tiene un peso de 600 toneladas con los 44 polos de 4.5 toneladas incluidos.
24. Desmontar polos del rotor.



Figura 28.- Rotor y polos desmontándose



25. Desmontar bulones flecha rodete.
26. Calzar rodete y desmontar collar de carga.

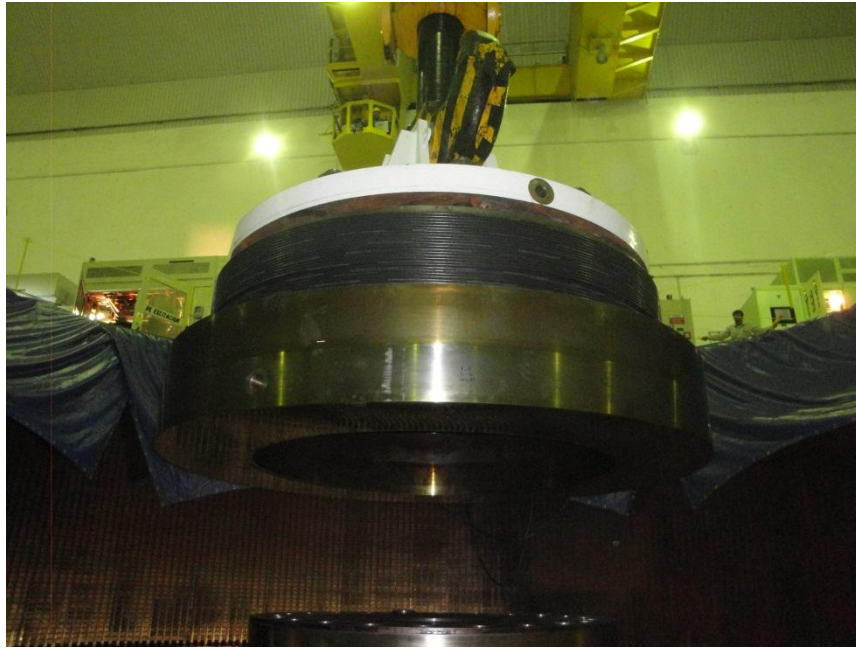


Figura 29.- Collar de carga.

27. Vaciar aceite de chumacera de carga o combinada
28. Desmontar camisas o fundas de álabes.
29. Desmontar la chumacera de carga.



Figura 30.- sección visible de la chumacera de carga.

30. Desacoplar servomotores y eslabones del anillo de regulación.



Figura 31.- Desacoplado el servomotor principal.

31. Desmontar bielas y eslabones de álabes móviles o paletas directrices.



Figura 32.- Biela de álabes móviles desmontados.

32. Desmontar anillo de regulación.



Figura 33.- Anillo de regulación de velocidad.

33. Desmontar cilindro de carga.



Figura 34.- Cilindro de carga.

34. Desmontar servomotores.



Figura 35.- Servomotores que mueven el anillo de regulación

35. Desmontar chumacera guía turbina (cuba).



Figura 36.- Chumacera guía turbina.

36. Desmontar escudo o tapa superior.



Figura 37.- Escudo superior desmontado.



Figura 38.- Chumacera suspendida por la grúa de 40 ton-fuerza.



Figura 39.- Chumacera guía turbina.

37. Desmontar estopero (sello de la fecha).
38. Dar vuelta al escudo superior para poder hacer el mantenimiento debido a que la parte afectada por el golpeo del agua es la inferior.



Figura 40.- Maniobras para voltear el escudo superior.

39. Desmontar cono de vórtice.

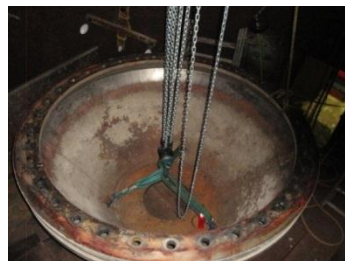


Figura 41.- Cono vórtice suspendido por cadenas.

40. Desacoplar rodete y flecha-turbina y desmontar flecha.



Figura 42.- Flecha unidad al rodete.



Figura 43.- Desmontaje de flecha.



Figura 44.- Transporte de flecha a zona de mantenimiento entre las pasasolas de los pisos de playa de montaje.

#### 41. Desmontaje de bulones flecha rodete



Figura 45.- bulones flecha-rotor.

42. Desmontaje de rodete Francis.



Figura 46.- desmontaje de rodete Francis.





Figura 47.- Cono vórtice.

43. Desmontar álabes móviles o paletas directrices.



Figura 48.- Secuencia de desmontaje de álabes móviles.

#### 44. Desmontaje de radiadores



Figura 49.-desmontaje de radiadores y llevados a mantenimiento a almacén.

#### 45. Desmontar anillo fijo de desgaste escudo inferior.



Figura 50.- Escudo inferior levantado.

## II – REPARACIÓN

1. Desmontar placas de desgaste del escudo inferior.



Figura 51.- Desmontaje de placas de desgaste.

2. Retirar bujes inferiores de alabes móviles en escudo inferior.
3. Reparar zonas con desgaste en el escudo inferior (aportación de material con arco eléctrico electrodo según el manual).
4. Rectificar asiento de placas y anillo de desgaste y alojamiento de bujes en escudo inferior.



Figura 52.- Dispositivo para retirar placas de desgaste del escudo inferior.

5. Rectificar rosca en barrenos de fijación de placas y anillo de desgaste en escudo inferior.



Figura 53.- Barrenos/machuelos y rosca para fijación de placas.

6. Montar anillo de desgaste fijo nuevo en el escudo inferior.
7. Montar placas de desgaste en escudo inferior verificando su nivelación.



Figura 54.- Escudo inferior con placas instaladas.

8. Tomar medidas del diámetro de la caja de alojamiento de bujes en el escudo inferior.
9. Maquinar al diámetro exterior requerido de acuerdo a la caja de alojamiento de los bujes del escudo inferior.

10. Montar bujes nuevos del escudo inferior.
11. Sand-Blast y aplicación de recubrimientos anticorrosivo al escudo inferior, caracol, obra de toma con granalla (acero molido).
12. Retirar anillo fijo escudo superior y anillo de desgaste sello de la flecha.  
*Nota: para dicho mantenimiento se procedió a una contratista que llevó a cabo las actividades de mantenimiento al escudo superior*
13. Retirar placas de desgaste del escudo superior.



Figura 55.- Removiendo placas de desgaste del Escudo superior.

14. Retirar bujes superiores e intermedios de alabes móviles en escudo superior.
15. Reparar alojamientos de placas y anillos en escudo superior (aportación de material con arco eléctrico electrodo manual).
16. Rectificar asiento de placas y anillo de desgaste y alojamiento de bujes en escudo superior.



Figura 56.- Rectificado en Escudo superior.

17. Rectificar rosca en barrenos de fijación de placas de desgaste en escudo superior.
18. Montar placas de desgaste escudo superior.
19. Montar anillo fijo de desgaste superior y anillo de desgaste sello de la flecha.
20. Tomar medidas del diámetro de la caja de alojamiento de bujes superiores intermedios de alabes móviles en escudo superior.
21. Maquinar diámetro exterior de acuerdo a la caja de alojamiento los bujes superiores.
22. Montar bujes superiores e intermedios de alabes en escudo superior.
23. Sand-Blast y aplicación de recubrimientos anticorrosivo al escudo superior.
24. Inspección mediante pruebas no destructivas a elementos de la turbina, aspas del generador y recipientes sujetos a presión.
25. Mantenimiento a las camisas de los álabes. 24 piezas



Figura 57.- Camisas de los álabes.



Figura 58.- Machuelado de cuerdas en roscas de camisas.

26. Extracción de anillos de desgaste del rodete.
27. Reparación del rodete (socavaduras por cavitación y fisuras), aplicando aproximadamente 1.25 kg de electrodos E309L por álabe. Dicho electrodo cubre las prioridades que afectan por fisura, picadura y/o corrosión. Porque se han registrado fisuras de hasta 22 cm. de longitud.



Figura 59.- Reparación en rodete

- 28. Montar anillos de desgaste del rodete.
- 29. Revisión limpieza y pintura cilindro de carga.



Figura 60.- Cilindro de carga en óptimas condiciones.

- a. Limpieza, inspección y reparación de álabes móviles y ver si las ralladuras y/o imperfecciones necesitan rectificación para llevarlo con TASAMA quien se encarga de su rehabilitación.



Figura 61.- Limpieza de álabes móviles.



Figura 62.- Reparación de álabes móviles.



30. Extraer bujes de bielas, eslabones. 2 bujes por eslabón siendo un total de 24 eslabones por el mismo número de bielas.



Figura 63.- Extracción de bujes en eslabones.

31. Tomar medidas y fabricar bujes eslabones.



Figura 64.- Eslabones de las bielas del anillo de regulación.

32. Instalar bujes en bielas, eslabones y cruceta de regulación. 48 piezas utilizando gatos de 10 toneladas y el dispositivo de la figura 70 para su inserción.



Figura 65.- Bujes de Bronce para eslabones de bielas.



Figura 66.- Montaje de bujes de bronce nuevos en eslabones.



Figura 67.- Inserción de cuña en bujes.



Figura 68.- bielas reparadas.

33. Reparar zonas cavitadas en la flecha-turbina.

34. Limpieza de bulones flecha rodete



Figura 69.- bulones flecha-rodete.



Figura 70.- mantenimiento al manguito de flecha.

- 35. Limpiar y aplicar recubrimiento anticorrosivo a brida soporte y caja de alojamiento de sello del escudo superior.
- 36. Reparación y aplicación de recubrimiento anticorrosivo al cono del rodete.



Figura 71.- Cono vrtice reparado

- 37. Mantenimiento a componentes del estopero y aplicación de recubrimiento anticorrosivo a tapas.
- 38. Asentar (rasquetear) segmentos de las chumaceras guía 12 piezas



Figura 72.- Segmentos chumacera guía turbina

- 39. Asentar (rasquetear) segmentos de carga de la chumacera de carga.



Figura 73.- Segmentos chumacera de carga

40. Reparación de servomotores del distribuidor.

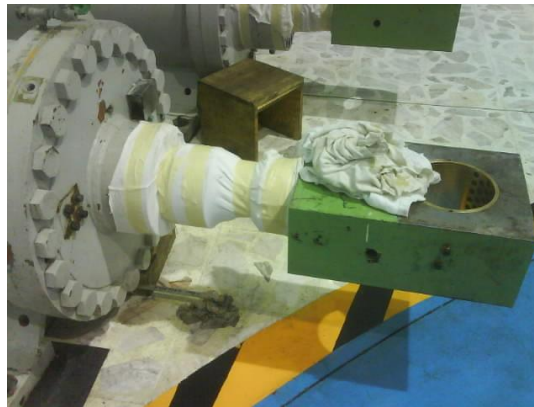


Figura 74.- Servomotores limpios

41. Verificar diámetro de anillos y rectificar diámetro interior de los anillos fijos para dar el huelgo requerido entre estos.

42. Mantenimiento a los polos del rotor.



Figura 75.- Mantenimientos a los polos del rotor.

43. Limpieza y mantenimiento general a tornillería, tubería y piezas desmontadas.



Figura 76.- Tornillería en mantenimiento.

44. Ajustar perfil de descarga anillo escudo inferior.

45. Acoplar flecha-rodete.

46. Acoplamiento de manguito a la flecha.



Figura 77.- Escudo superior reparado.

### III. MONTAJE

1. bajar cono vórtice antes de montar el escudo superior con el conjunto flecha rodete.
2. Revisión y toma de medidas para ajuste de álabes
3. Montaje conjunto flecha-rodete (calzar y centrar con respecto al escudo inferior y acuñar).



Figura 78.- Montaje conjunto flecha-rodete.



Figura 79.- Inspección de escudo superior en playa de montaje.

4. Tomar medidas del diámetro de muñones en cada uno de los alabes móviles.
5. Rectificar diámetro interior de bujes (superior, intermedio e inferior de acuerdo a diámetro de muñones de cada uno de los alabes).
6. Montar alabes móviles.
7. Montaje de rodete.
8. Montaje de flecha.
9. Montaje escudo superior (o-ring de sello, calzas para nivelación, guías y tornillería de fijación dando el apriete requerido). Son 100 tornillos y el empaque o-ring anti fugas de neopreno.
10. Transporte de escudo superior y el montaje



Figura 80.- Transporte de escudo superior.

11. Montar caja del estopero.
12. Montar chumacera guía turbina.
13. Instalar tubería estopero y chumacera guía turbina.
14. Montar cilindro de carga.
15. Montar servomotores del distribuidor.
16. Montaje de bielas de alabes o paletas directrices.
17. Verificar y ajustar huelgos entre alabes móviles y placas de desgaste superior e inferior.
18. Montar empaques y prensaestopas del sello de alabes en el escudo superior (buje intermedio).
19. Cambio de zapatas de deslizamiento del anillo de regulación.
20. Montar anillo de regulación.
21. Montar chumacera de carga o combinada.
22. Montar collar de carga.



Figura 81.- Collar de carga reparado.

23. Acoplar flecha generador-turbina.



Figura 82.- flecha acoplada.

24. Instalar tubería de aceite y de agua de enfriamiento de la chumacera de carga.



25. Prueba hidrostática al sistema de prelubricación o de izaje de la chumacera de carga.
26. Instalar termómetros y detector de nivel de aceite chumacera de carga.
27. Cargar aceite en chumacera de carga.
28. Montaje de eslabones y pernos del anillo de regulación.



Figura 83.- anillo de regulacion reparado con bujes nuevos.

29. Acoplar servomotores con el anillo de regulación.
30. Ajuste del cierre de los alabes móviles con los pernos excéntricos.
31. Armar chumacera guía turbina.
32. Montar tubería de agua de enfriamiento en la chumacera guía turbina.
33. Instalar termómetros de chumacera guía turbina.
34. Instalar tubería de agua de enfriamiento estopero..
35. Montar piso de frenado.
36. Montar estrella del generador.
37. Montar cuñas de apriete radial y tangencial del generador.
38. Montar polos del rotor.



Figura 84.- Rotor con polos instalados.

39. Montar la araña del estator (soporte de la chumacera guía generador).
40. Montar chumacera guía generador.
41. Verificar nivelación, verticalidad y centrado de la unidad.
42. Ajustar huelgos en chumaceras guía.
43. Repartir carga en chumacera de carga.
44. Armar estopero (sello de la flecha).
45. Cargar aceite en chumacera guía generador y chumacera guía turbina.
46. Verificar entrehierro de estator-rotor.
47. Verificar medidas de referencia de acuerdo al protocolo de montaje (partes fijas y móviles) de cómo quedo la unidad
48. Montar flecha de anillos rozantes.
49. Montar cubículo de anillos rozantes.
50. Montar aspas y tolvas del generador.
51. Montar estructura y tapa antiderrapante.

#### IV. MANTENIMIENTO AL REGULADOR DE VELOCIDAD



Figura 85.-.Sistema de regulación.



Figura 86.- Bombas y tuberías del sistema de regulación.

1. Despresurizar y vaciar aceite del sistema de regulación.
2. Revisión y limpieza del depósito de aceite sin presión.
3. Revisión y limpieza del tanque acumulador.
4. Efectuar limpieza de filtros en tanque de aceite sin presión.
5. Verificar calibración de indicadores de nivel del tanque de aceite sin presión.
6. Revisión y limpieza del sistema de control de las bombas de aceite de regulación.
7. Revisión y limpieza de bombas de aceite de regulación.
8. Cambio de baleros en motores de las bombas de aceite de regulación.
9. Revisión y calibración de válvulas de seguridad en las bombas de aceite de regulación.
10. Revisión y lubricación en articulaciones de retroalimentaciones de posición.
11. Limpieza del enfriador de aceite de regulación.
12. Revisión y limpieza de válvulas distribuidoras.
13. Revisión y limpieza del actuador del regulador.
14. Revisión y limpieza del transductor del regulador.
15. Revisión y limpieza válvula piloto de la distribuidora.
16. Revisión y limpieza filtros de aceite de control.
17. Corregir fugas de aceite de estoperos válvulas.
18. Verificar estanqueidad sistema de aire de regulación.
19. Verificar válvulas de seguridad sistema aire de regulación.
20. Verificar sistema automático de inyección de aire al tanque acumulador.
21. Centrifugar, cargar aceite y presurizar el sistema de regulación.

## V. SISTEMA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO

1. Desmontaje de radiadores y tubería de agua de enfriamiento.



Figura 87.-Mantenimiento a sistema de agua de enfriamiento.

2. Limpieza y prueba hidrostática a intercambiadores de calor de chumaceras, del sistema de regulación (enfriadores de aceite) y radiadores del generador. Dicha prueba se realiza a  $100 \text{ kg/cm}^2$  de presión para evitar impurezas.



Figura 88.-Intercambiadores de calor del sistema de regulación, 8 piezas.

3. Revisión válvula principal de agua de enfriamiento, reparar en caso necesario.
4. Verificar estado y limpieza de filtros principales.



5. Verificar estoperos de las válvulas.
6. Verificar estado de las válvulas, reparar en caso necesario.
7. Montar radiadores y tubería del generador.
8. Verificar abrazaderas, soportes y tornillería en tuberías de agua de enfriamiento.

## **VI. CENTRAL OLEODINAMICA OBRA DE TOMA**

1. Centrifugado de aceite.
2. Revisar y corregir fugas si se requiere, de acuerdo al instructivo de área.
3. Cambiar filtros de aceite y verificar bombas de aceite.
4. Verificar tiempo de cierre.
5. Verificar micros de señalización.

## **VII. GENERADOR**

1. Revisión al sistema de frenado, cambio de balatas y revisión de gatos.
2. Cambio de pista de frenado.
3. Verificación tornillería del laminado.
4. Revisión y lubricación en puntos de apoyo del estator.

## **VIII. PUESTA EN SERVICIO**

1. Desmontar andamio tubería de aspiración.
2. Cerrar registro-hombre tubo de succión y caracol.
3. Levantar compuertas de desfogue.
4. Llenar tubería y abrir compuertas de obra de toma.
5. Pruebas sistema agua de enfriamiento.
6. Efectuar rodado para saturación de temperaturas.
7. Efectuar pruebas pre operacionales.

## **9.2 CÁLCULOS DE PESOS TEÓRICOS Y ESFUERZO.**



Para calcular los pesos teóricos se ha optado por una herramienta muy común en la ingeniería como lo es el SOLIDWORKS que oferta medidas y una serie de imágenes en tercera dimensión más fácil de comprender y de proyectar en planos partiendo de piezas reales.



Figura 89.- Software "SOLIDWORKS 2011".

Como primer paso elaboré la piza en forma tridimensional para que posteriormente me arrojaran los planos y con una subherramienta llamada PAORIEDADES FÍSICAS obtengo el volumen que es una variable importante para mi cálculo de pesos teóricos.

No se espera entrar a fondo del programa sino simplemente retomar el hecho de elaborar los planos a partir de la pieza real y de obtener en segunda instancia la propiedad física como lo es el volumen de la pieza modelada.

Recordemos que para obtener el peso de un elemento o pieza debemos recurrir a sus propiedades físicas como lo son volumen y peso específico que, la primera se obtiene de su forma y la segunda del material que está hecha la pieza a calcular.

Para lo siguiente atenderemos a la siguiente ecuación que resuelve la cuestión de ser de los cálculos:

Recordemos que la expresión

$$W = v * \gamma \dots \dots \dots \text{ecuación (1)}$$

Donde

W= el peso en kgf o N

V= volumen en m<sup>3</sup>

$\gamma$ =peso específico( peso por unidad de volumen) en kgf/m<sup>3</sup>

como el software usado oferta la variable volumen en  $\text{mm}^3$  usaremos un factor de conversión tal que ...  $(1 \text{ m})^3 = (1000\text{mm})^3$  por lo tanto  $1\text{m}^3 = 1 \times 10^9 \text{mm}^3$

#### A) PESO DEL COLLAR DE CARGA.

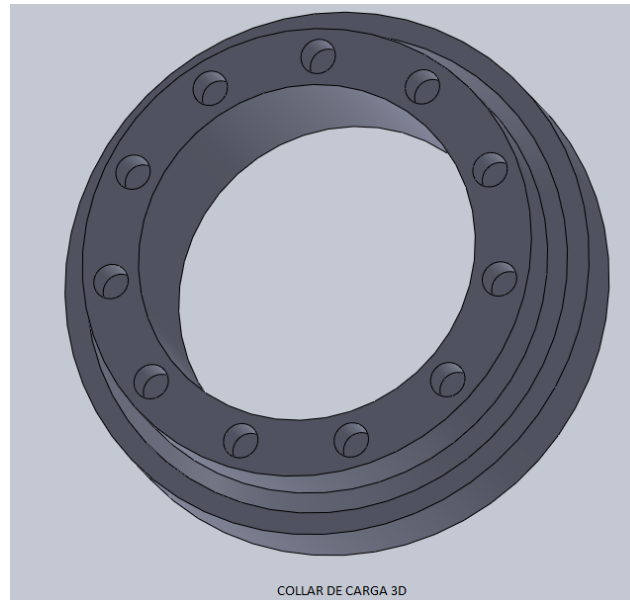


Figura 90.- Collar de carga

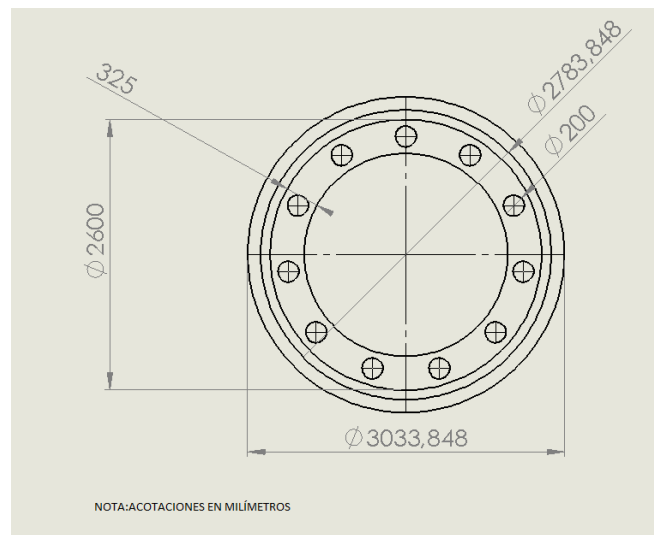


Figura 91.- Planos de dimensiones del collar de carga.

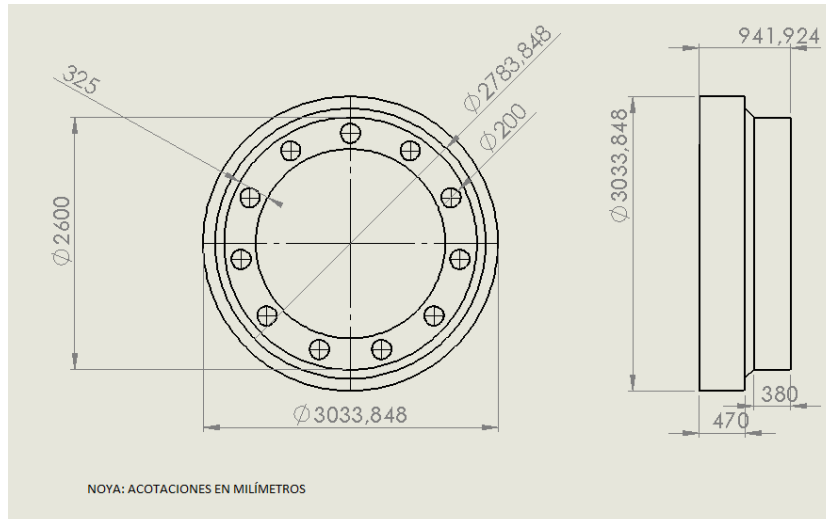


Figura 92.- Dimensiones alternas del collar de carga.

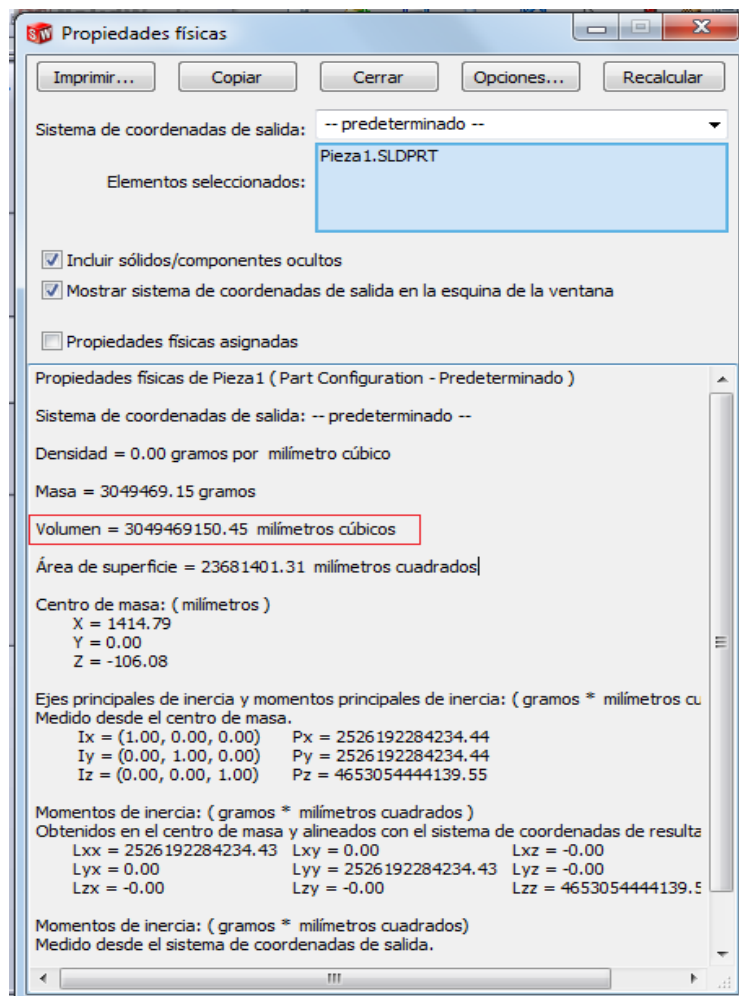


Figura 93.-. Tabla de propiedades físicas del software.





Consideramos que de acuerdo a la información que existe en CFE donde el collar de carga tiene un peso específico  $\gamma=7,850 \text{ kgf/m}^3$

Material de composición: acero al carbón

Usamos la ecuación (1) y tenemos que:

$$W = v * \gamma = (3049469150 \text{ mm}^3) \left( \frac{1 \text{ m}^3}{1 \times 10^9 \text{ mm}^3} \right) (7850 \text{ kgf/m}^3)$$

$W=23,938.33 \text{ kgf} \approx 23.9 \text{ toneladas}$

## B) PESO DE LOS PERNOS DEL SERVOMOTOR

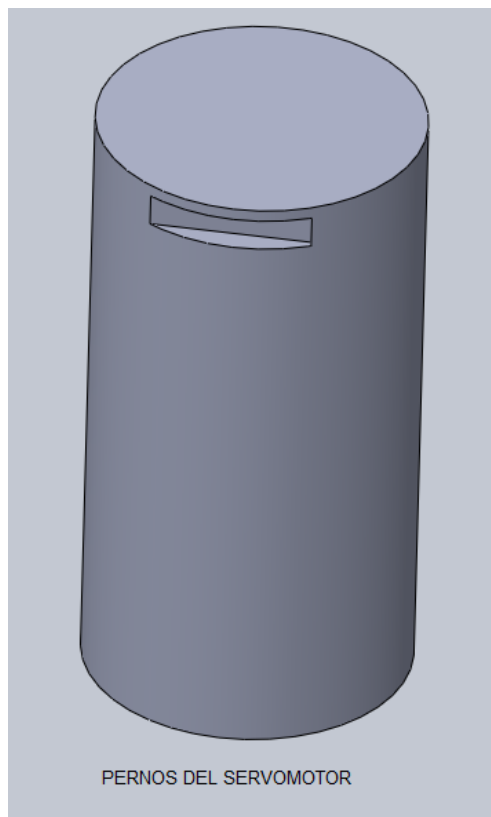


Figura 94.- Perno del servomotor principal.

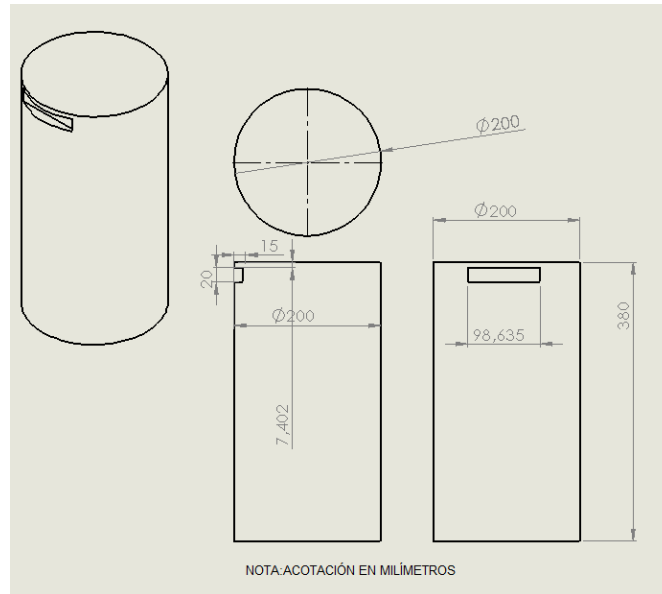


Figura 95.- Plano de medidas del perno del servomotor.

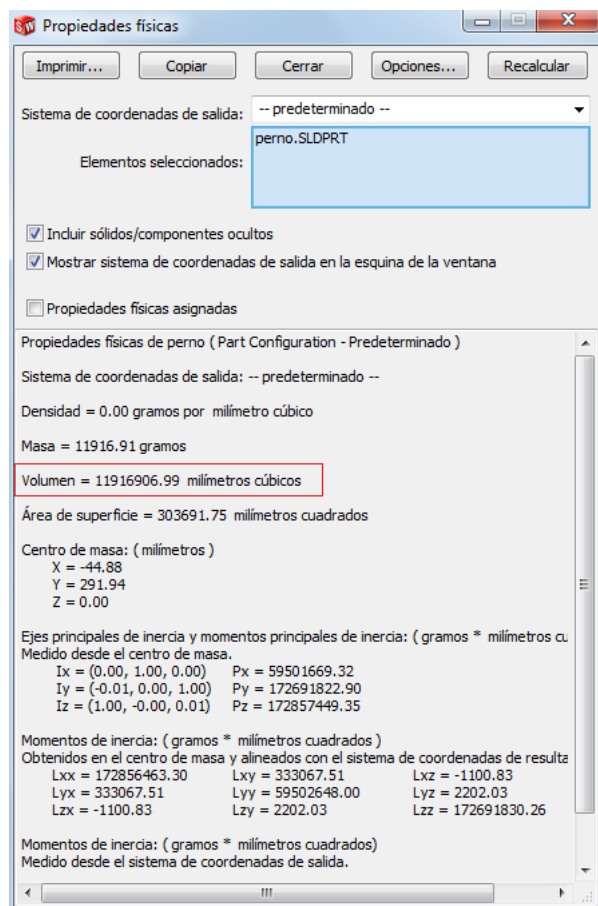


Figura 96.- Tabla de propiedades físicas del software para perno.



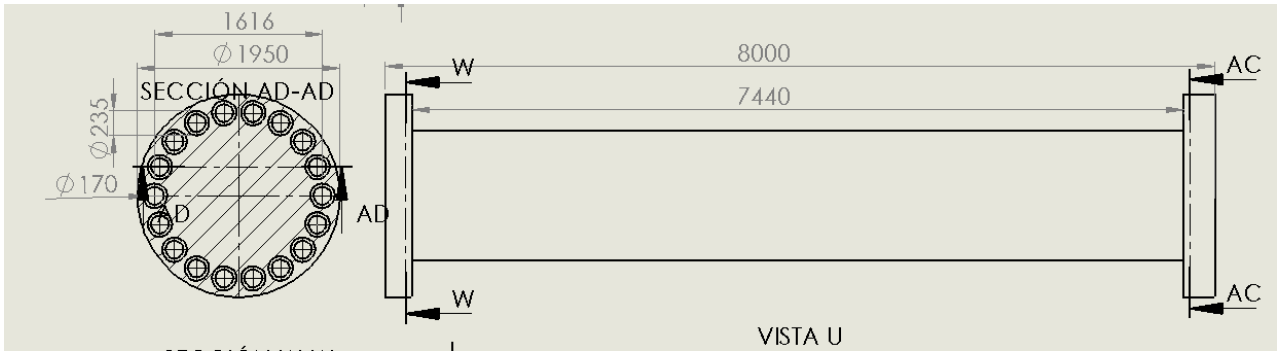


Figura 99.- Datos y medidas técnicas de la flecha acotado en milímetros.

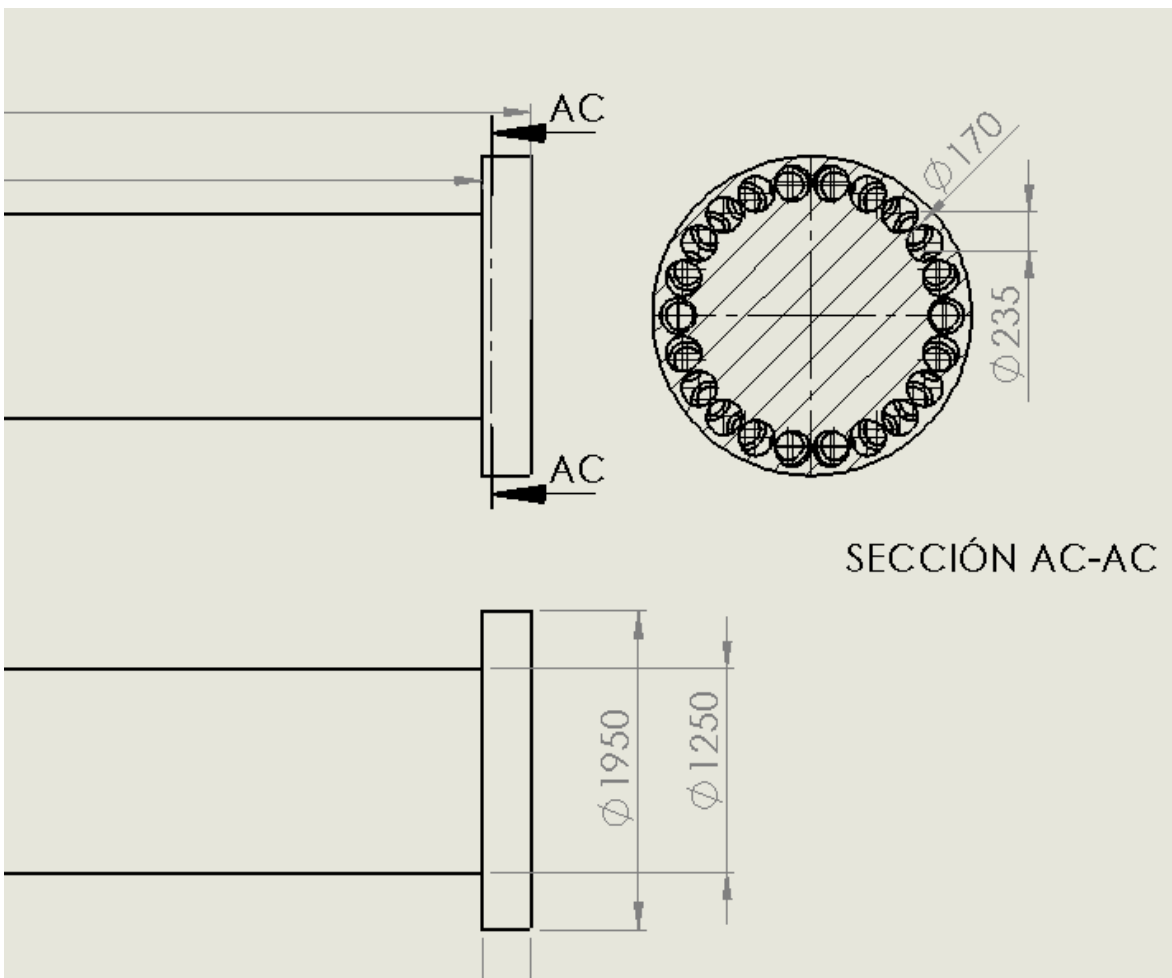


Figura 100.- Datos y medidas técnicas de la flecha acotados en milímetros.



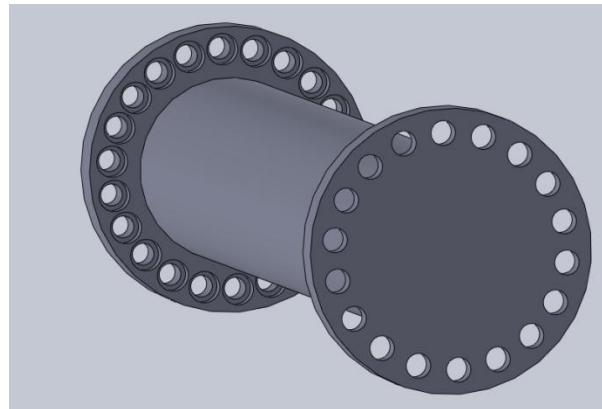


Figura 103.- Vista de la brida flecha rodete.

SW Propiedades físicas

Imprimir... Copiar Cerrar Opciones... Recalcular

Sistema de coordenadas de salida: -- predeterminado --

Elementos seleccionados: FLECHA.SLDPRT

Incluir sólidos/componentes ocultos

Mostrar sistema de coordenadas de salida en la esquina de la ventana

Propiedades físicas asignadas

Propiedades físicas de FLECHA ( Part Configuration - Predeterminado )

Sistema de coordenadas de salida: -- predeterminado --

Densidad = 0.00 gramos por milímetro cúbico

Masa = 10497890.64 gramos

Volumen = 10497890640.67 milímetros cúbicos

Área de superficie = 47007493.80 milímetros cuadrados

Centro de masa: ( milímetros )

X = 944.13  
Y = -3953.24  
Z = 0.00

Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: ( gramos \* milímetros cu. Medido desde el centro de masa.

Ix = (0.00, 1.00, 0.00)	Px = 2374617936678.45
Iy = (0.00, 0.00, 1.00)	Py = 63735352927057.41
Iz = (1.00, 0.00, 0.00)	Pz = 63735352927057.41

Momentos de inercia: ( gramos \* milímetros cuadrados )

Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de resulta

Lxx = 63735352927057.42	Lxy = -0.00	Lxz = 0.00
Lyx = -0.00	Lyy = 2374617936678.46	Lyz = -0.00
Lzx = 0.00	Lzy = -0.00	Lzz = 63735352927057.

Momentos de inercia: ( gramos \* milímetros cuadrados )

Medido desde el sistema de coordenadas de salida.

Figura 104.- Tabla de propiedades físicas del software para flecha.



Consideramos que de acuerdo a la información que existe en CFE donde la flecha tiene un peso específico  $\gamma=7,850 \text{ kgf/m}^3$

Material de composición: acero forjado

Usamos la ecuación (1) y tenemos que:

$$W = v * \gamma = (10497890640.67 \text{ mm}^3) \left( \frac{1 \text{ m}^3}{1 \times 10^9 \text{ mm}^3} \right) (7860 \text{ kgf/m}^3)$$

....=82,513.42kgf  $\approx$  82 Toneladas.

#### D) PESO DE BULÓN FLECHA RODETE.

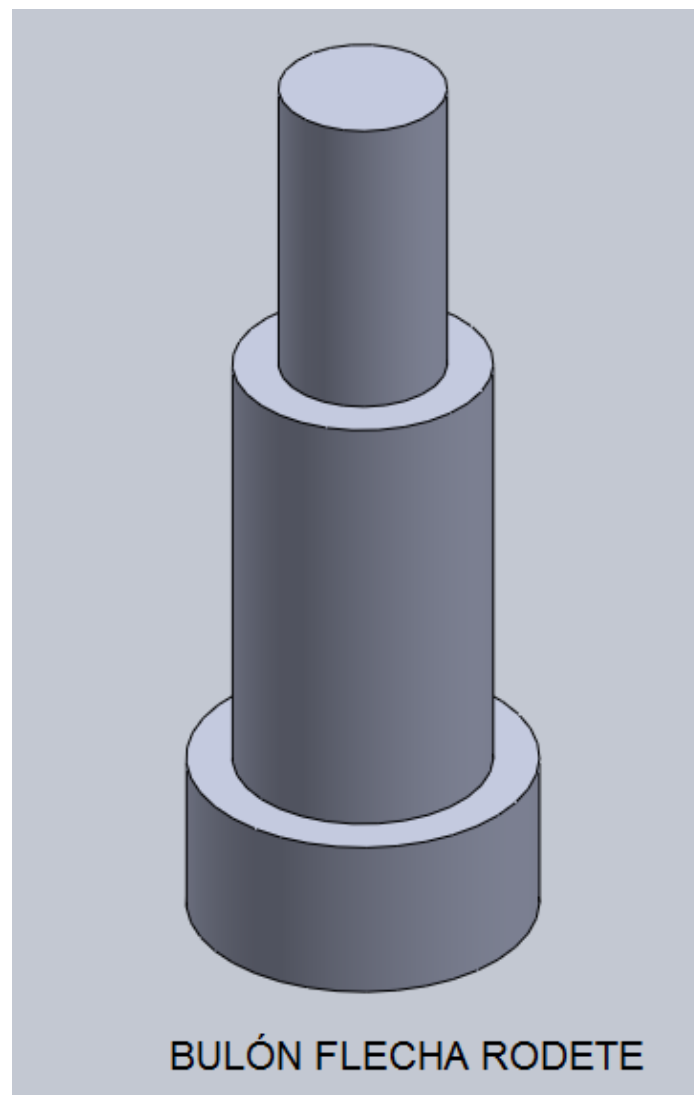


Figura 105.- Bulones flecha-rodete.

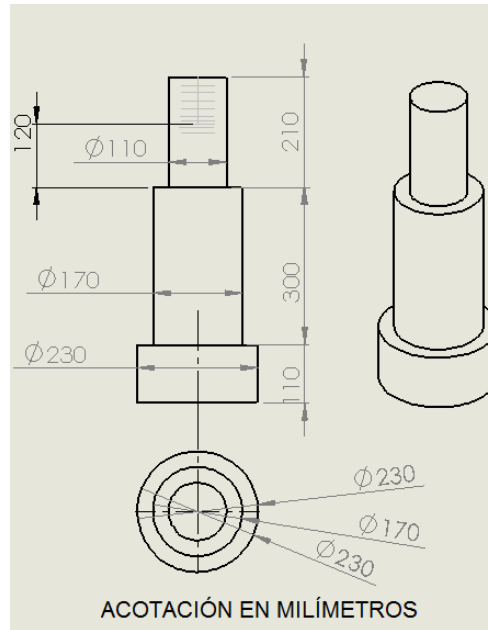


Figura 106.- Medidas de los bulones.

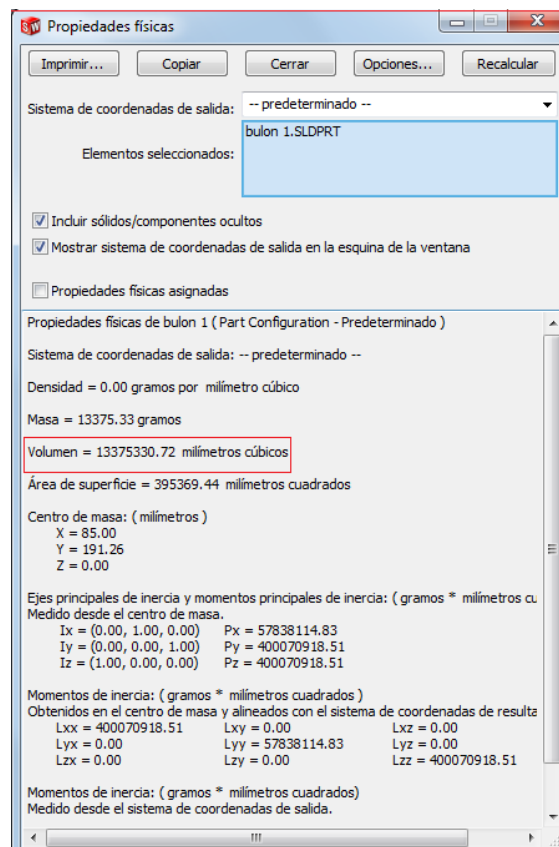


Figura 107.- Tabla de propiedades físicas del software para bulón flecha-rodete.





Consideramos que de acuerdo a la información que existe en CFE donde el collar de carga tiene un peso específico  $\gamma=7,850 \text{ kgf/m}^3$

Material de composición: acero al carbon.

Usamos la ecuación (1) y tenemos que:

$$W = v * \gamma = (13375330 \text{ mm}^3) \left( \frac{1 \text{ m}^3}{1 \times 10^9 \text{ mm}^3} \right) (7850 \text{ kgf/m}^3)$$

$W=104.99 \text{ kgf} \approx 105 \text{ kgf}$ .

E) PESO DE BULÓN FLECHA ROTOR.

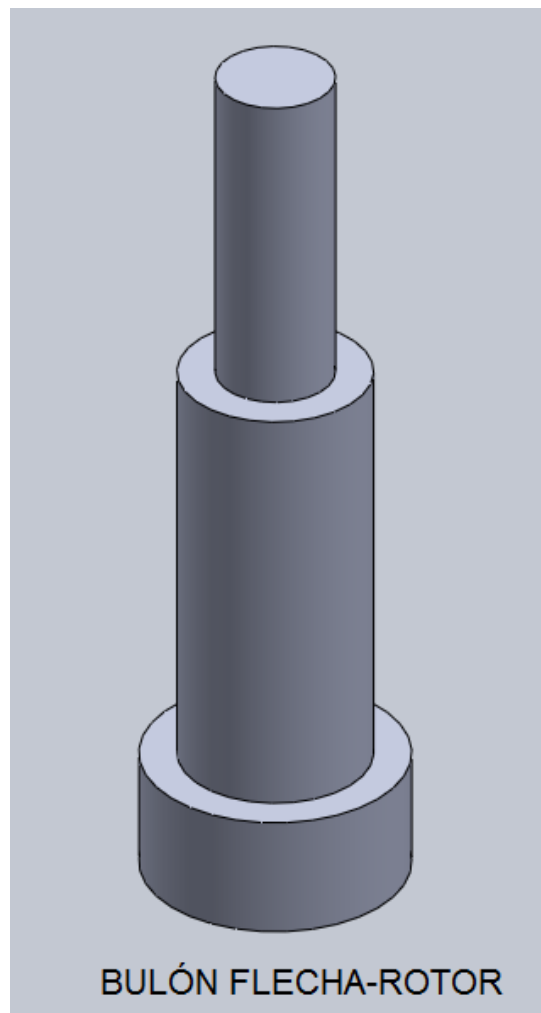


Figura 108.- Bulones flecha-rodete.

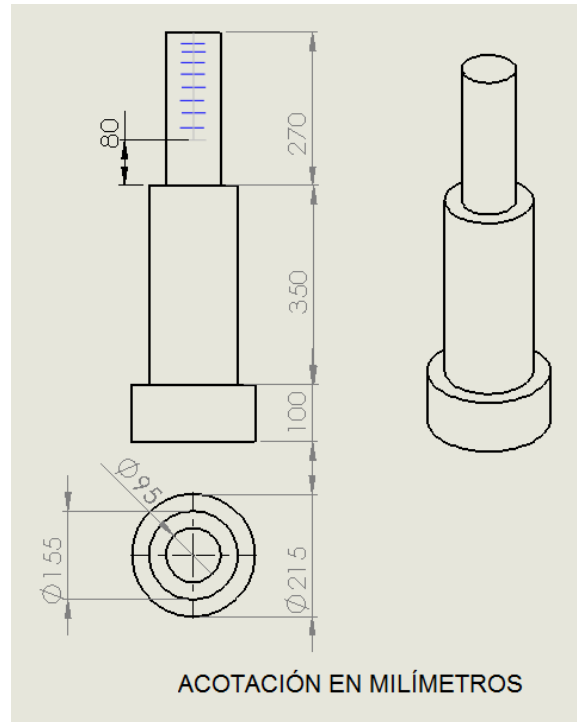


Figura 109.- Medidas técnicas de los bulones.

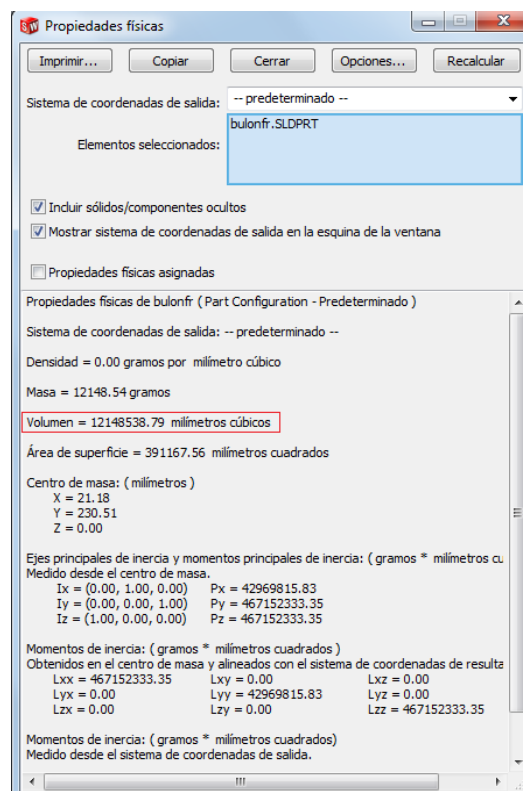


Figura 110.- Tabla de propiedades físicas del software para bulón flecha-rotor.



Consideramos que de acuerdo a la información que existe en CFE donde el bulón tiene un peso específico  $\gamma=7,850 \text{ kgf/m}^3$

Material de composición: acero al carbon.

Usamos la ecuación (1) y tenemos que:

$$W = v * \gamma = (12148538\text{mm}^3) \left( \frac{1 \text{ m}^3}{1 \times 10^9 \text{ mm}^3} \right) (7850 \text{ kgf/m}^3) \quad \dots \quad W = 95.36 \text{ kgf}$$

#### F) PESO DE ESLABÓN DE BIELAS EN ANILLO DE REGULACIÓN

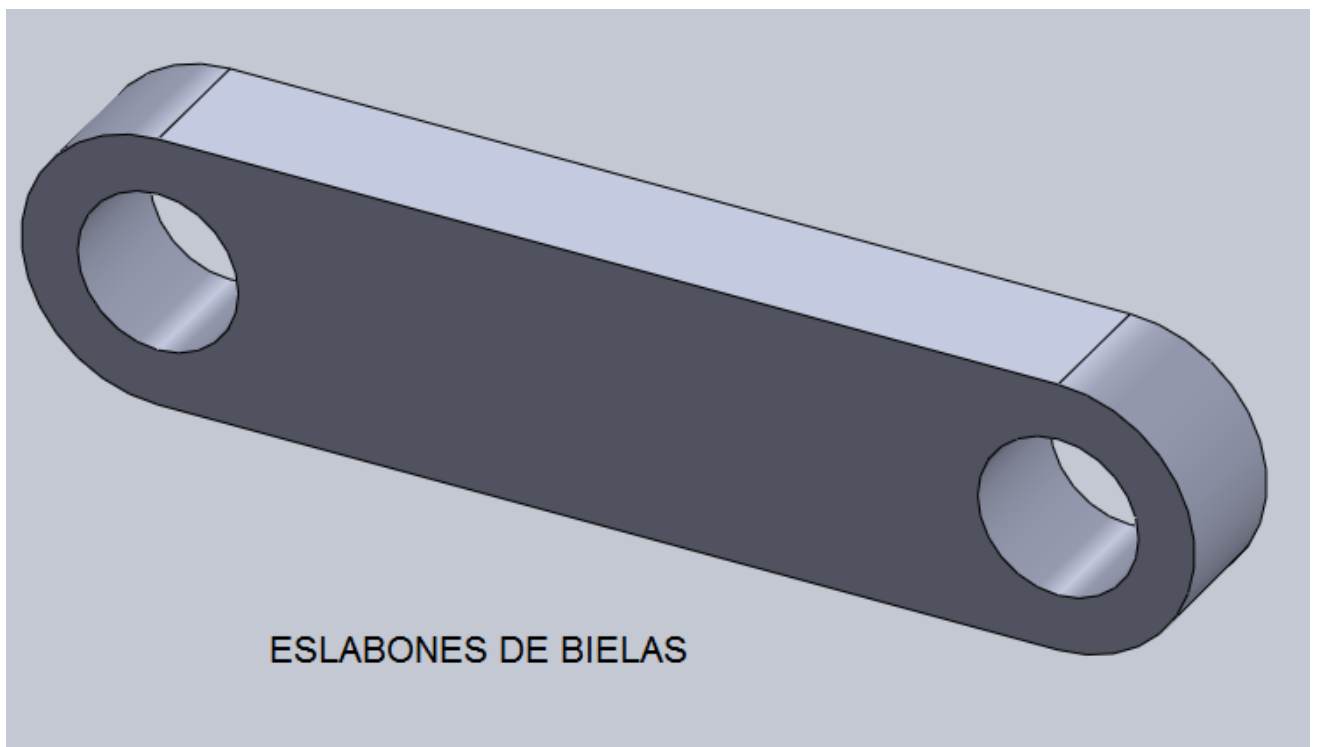


Figura 111.- Eslabón de las bielas del anillo de regulación.

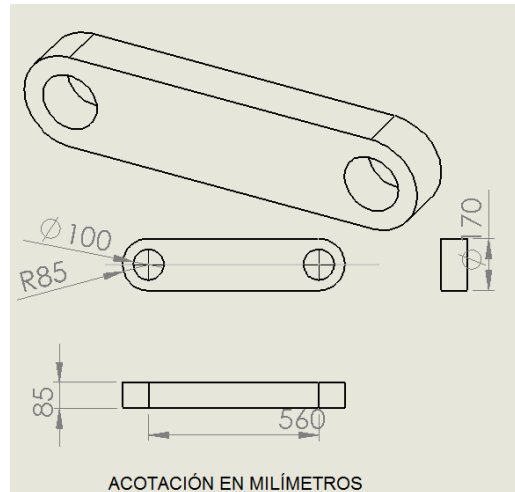


Figura 112.- Medidas técnicas de los eslabones.

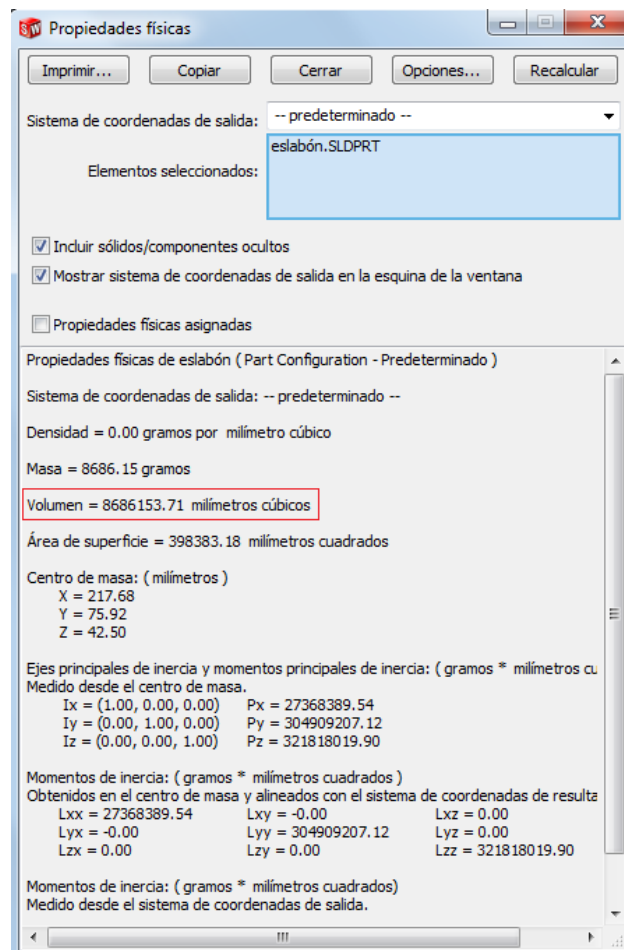


Figura 113.- Tabla de propiedades físicas del software para eslabones.



Consideramos que de acuerdo a la información que existe en CFE donde el eslabón tiene un peso específico  $\gamma=7,850 \text{ kgf/m}^3$

Material de composición: acero al carbon.

Usamos la ecuación (1) y tenemos que:

$$W = v * \gamma = (8686153.77\text{mm}^3) \left( \frac{1 \text{ m}^3}{1 \times 10^9 \text{ mm}^3} \right) (7850 \text{ kgf/m}^3) =$$

$$W=68.1863 \text{ kgf}$$

### G) PESO DE CAMISAS DE ÁLABES MÓVILES

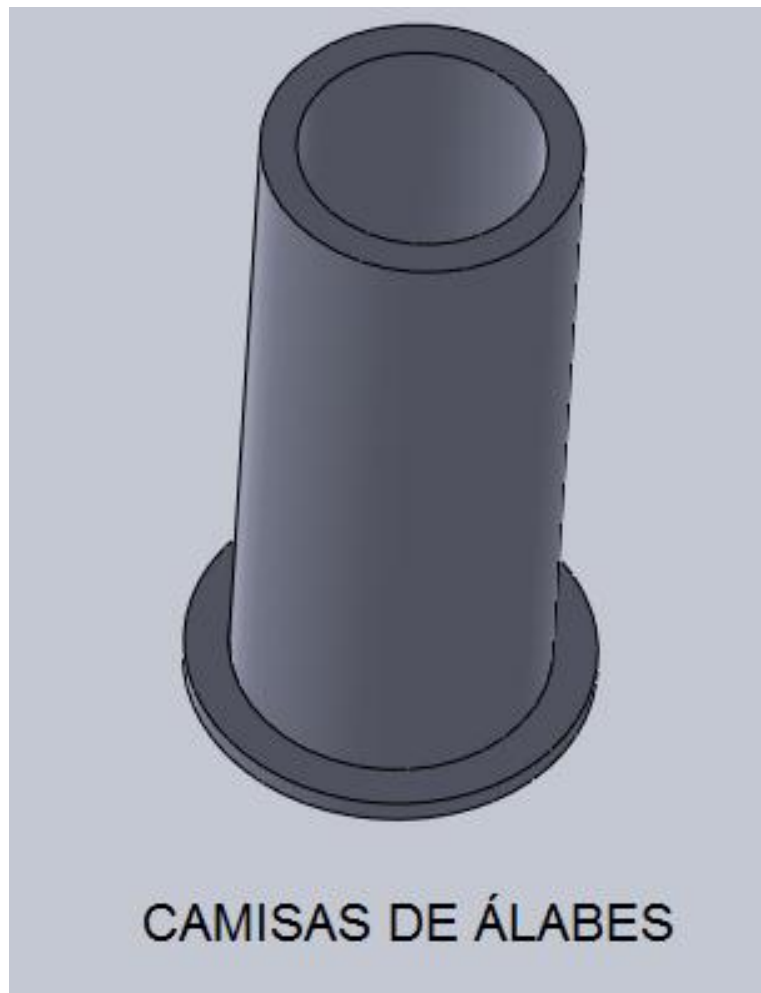


Figura 114.- Eslabón de las camisas de los álabes

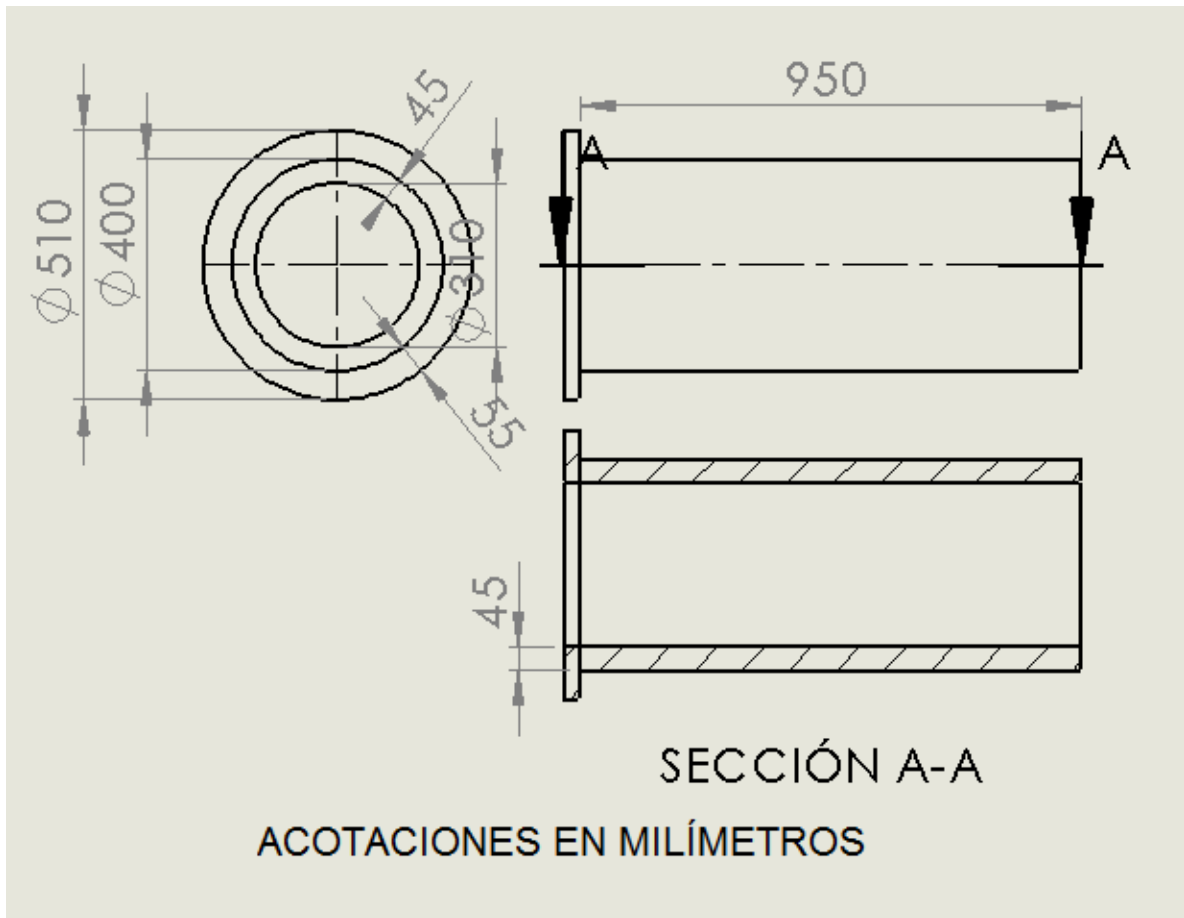


Figura 115.- Medidas técnicas de las camisas.

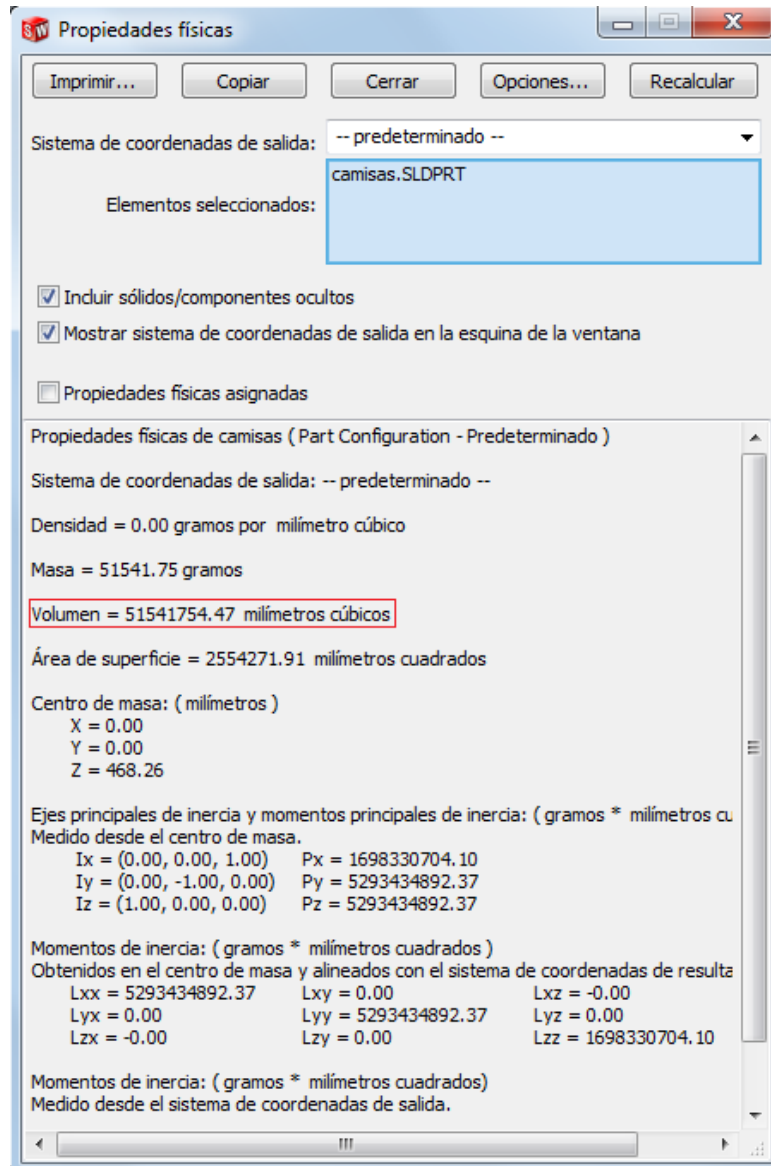


Figura 116.- Tabla de propiedades físicas del software para camisas.

Consideramos que de acuerdo a la información que existe en CFE donde la camisa tiene un peso específico  $\gamma=7,850 \text{ kgf/m}^3$

Material de composición: acero al carbon.

Usamos la ecuación (1) y tenemos que:

$$W = v * \gamma = (51541754.47 \text{ mm}^3) \left( \frac{1 \text{ m}^3}{1 \times 10^9 \text{ mm}^3} \right) (7850 \text{ kgf/m}^3) \quad \dots W=404.602 \text{ kgf}$$

## H) PESO DE BIELAS DEL ANILLO DE REGULACIÓN.

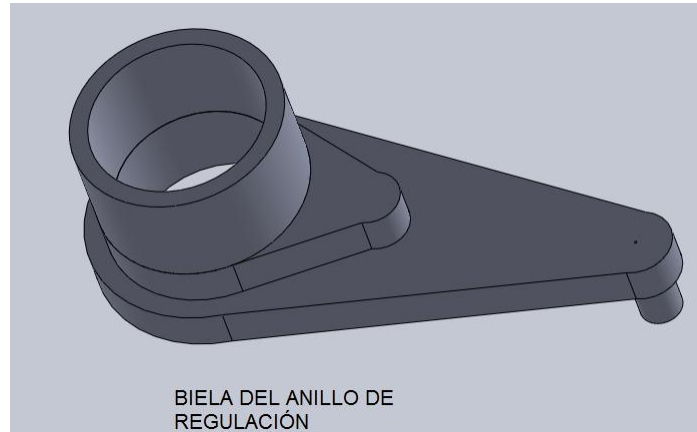


Figura 117.- Bielas del anillo de regulación.

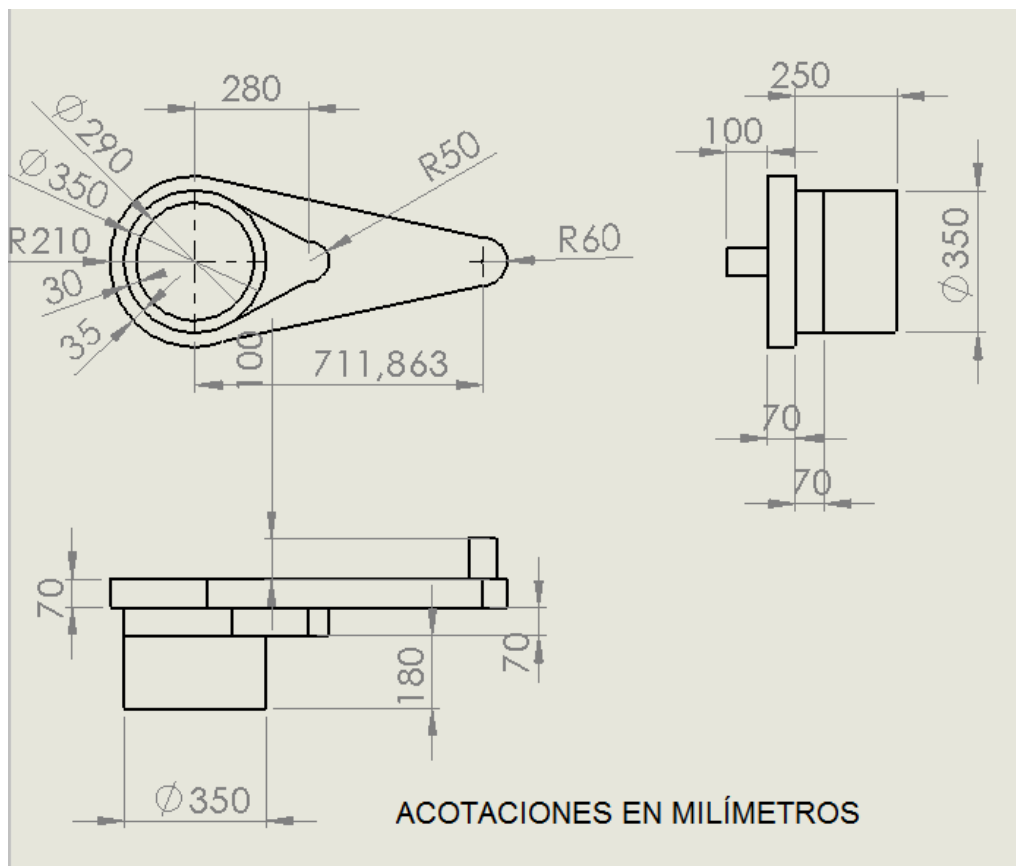


Figura 118.- Medidas técnicas de las bielas del anillo de regulación.



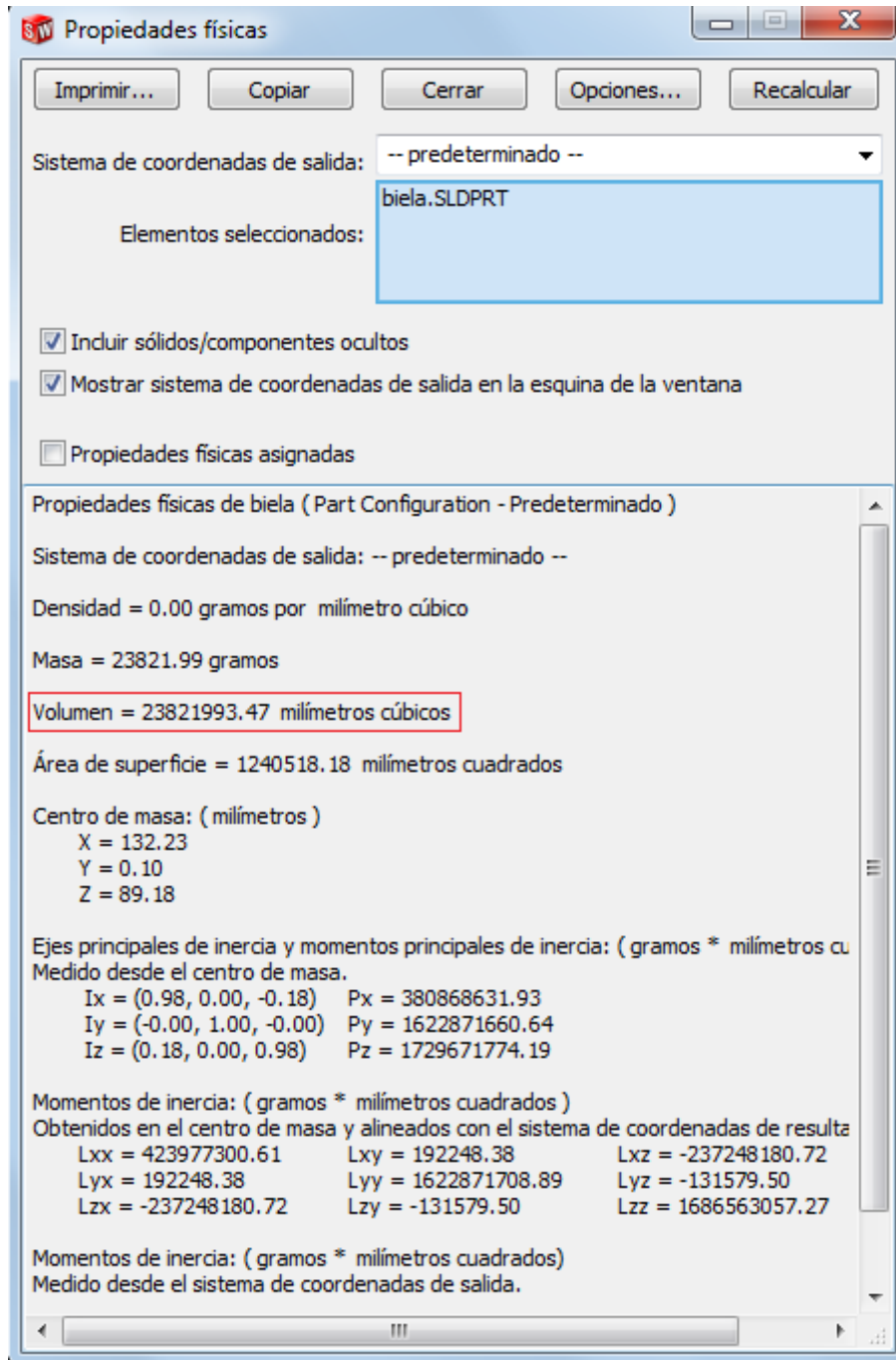


Figura 119.- Tabla de propiedades físicas del software para camisas.

Consideramos que de acuerdo a la información que existe en CFE donde el collar de carga tiene un peso específico  $\gamma=7,850 \text{ kgf/m}^3$

Material de composición: acero al carbon.



Usamos la ecuación (1) y tenemos que:

$$W = v * \gamma = (51541754.47 \text{ mm}^3) \left( \frac{1 \text{ m}^3}{1 \times 10^9 \text{ mm}^3} \right) (7850 \text{ kgf/m}^3) = 404.602 \text{ kgf}$$

“Es así como podemos apreciar las piezas que requerían la medida de su peso teórico son significativas para la labor humana por tanto es preciso no hacer maniobras a la ligera ya que debido a la robustez del peso del material del cual es compuesto al no ser considerado podría generar una situación insegura por movimiento o una sujeción de incertidumbre.”

### **9.3 CALCULO DE ESFUERZO EN LA FLECHA DEL CONJUNTO GENERADOR.**

Tomamos en cuenta que cada unidad generadora entrega una potencia total de 300 MW y observamos que esa potencia es transmitida teóricamente por la flecha de ahí que se tome en cuenta la eficiencia de la unidad generadora que es la turbina es de 90%.

Por tanto

$$n = 0.9$$

$$P_{\text{teórica}} = (P_{\text{real}}) / (n)$$

$$\text{Si } P_{\text{real}} = 300 \text{ MW}$$

$$P_{\text{teórica}} = (300 \text{ MW}) / (0.9) = 333.33 \text{ MW}$$

Sabemos de la figura 100.- sabemos que el diámetro de la flecha es de 125 cm = 1250 mm

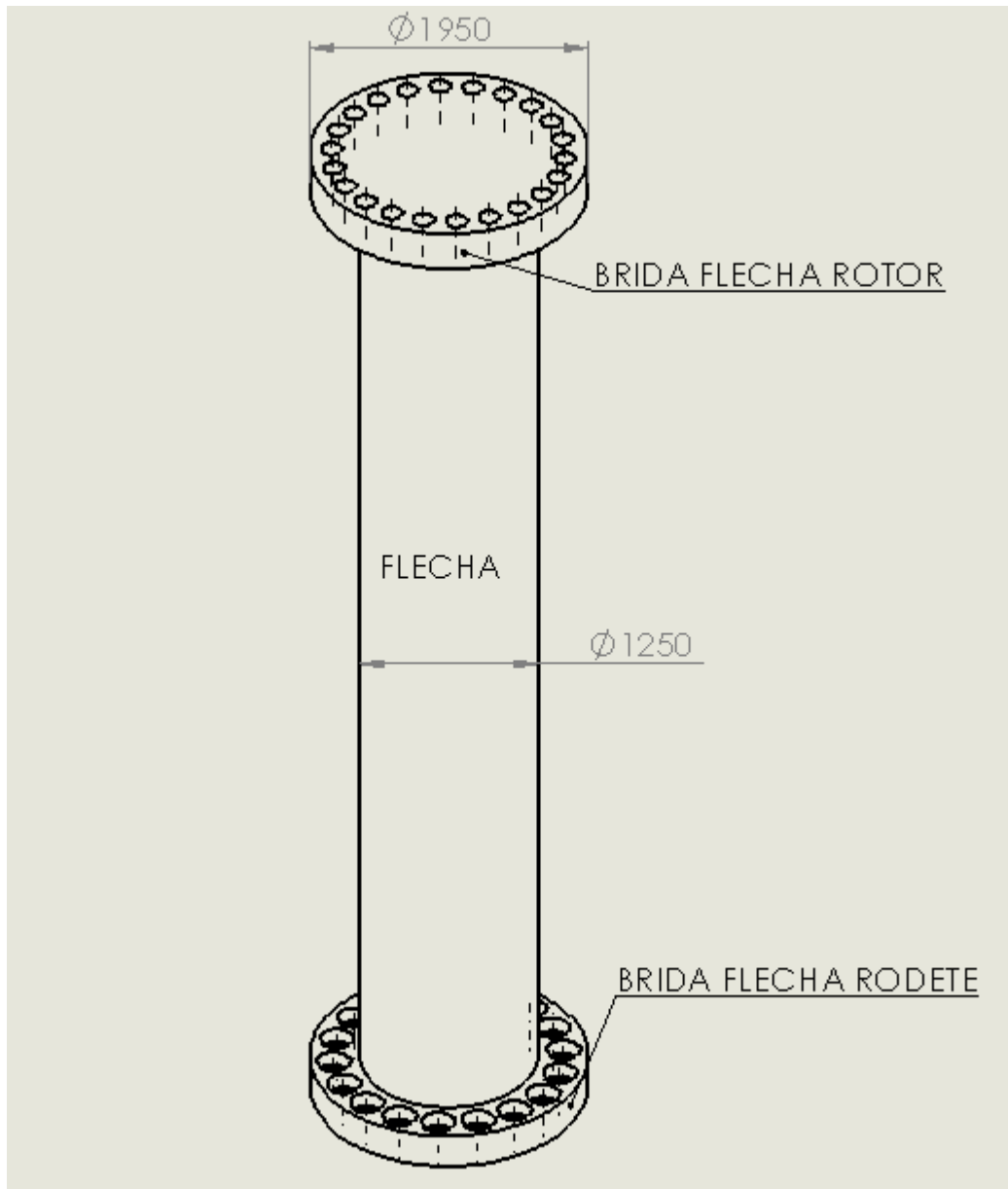


Figura 120. Diámetro de la flecha para el análisis mecánico.

Y recordamos que la potencia puede ser expresada en términos de la velocidad y el torque por tanto

$$P = T \cdot \omega$$

Donde P es la potencia

“T” es el torque o par transmitido y “ $\omega$ ” es la velocidad angular

Sabemos que la potencia previamente es  $P = 333.333 \times 10^3 \text{ n}\cdot\text{m}/\text{seg}$  y  $\omega = 163.64 \text{ rpm}$

Pero  $\omega = 163.64 \text{ rpm} = 17.1363 \text{ rad/s}$



De donde obtenemos que

$$T=19,451,884.8 \text{ N}\cdot\text{m.}$$

$$D=1.25 \text{ m}$$

Y por tanto

El esfuerzo cortante

$$\tau = \frac{T \cdot r}{J}$$

$T=50,7022.629 \text{ N/m}^2$  por lo que el  **$T=50.702\text{Mpa} \ll 360 \text{ Mpa}$  (resistencia última para acero forjado 1020HR)**

Por lo que obtendríamos un factor de seguridad  $F.S = \sigma_{\text{ULTIMO}} / \sigma_{\text{CORTANTE}} = \underline{7.1003}$  es seguro

“Obsérvese que es una valor admisible y considerado seguro para un acero forjado que trabaja con un torque antes analizado”.



## 10.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El presente trabajo se basó principalmente en el mantenimiento que la central hidroeléctrica Manuel Moreno Torres lleva a cabo en cada una de las unidades generadoras de la primera y segunda etapa, haciendo énfasis que dicho mantenimiento total a la unidad 3 ha brindado una herramienta para poder llevar a cabo a futuro, una secuencia de pasos para desmontar, reparar y montar la unidad generadora programada para su mantenimiento en la primera etapa.

El proyecto final tiene como virtud, el brindar la secuencia o manual de procedimientos y así cuando la central decida hacer un paro programado para cualquier unidad de la primera etapa, se vea este manual como un aporte inmediato de conocimientos necesarios o esenciales de un buen mantenimiento.

Una recomendación muy evidente es que para cuando se desee hacer un programa de mantenimiento, hago mención que este proyecto puede ser completado con tiempos específicos para las actividades que he mencionado y así tener expresada la secuencia en horas-hombre, hora de trabajo y periodos de actividad con el estudio de movimientos que hace que un proceso sea más eficiente.

En cuanto a la diversidad de imágenes, estas, son un apoyo más tangible a la visión del trabajo que pretende facilitar la secuencia programada de actividades (maniobras) y que a su vez fueron obtenidas durante el periodo de residencia que incluyó el paro total de la misma unidad generadora.

Yo invito a seguir aplicando los conocimientos como la ingeniería lo exige y como la central lo oferta, para que, pudiendo ampliar este mismo material disponible se proceda a hacer las observaciones que limitadamente no pudieron llevarse a cabo por la falta de información o de planos e imágenes.

Con lo anterior me siento capaz de decir que pude satisfactoriamente cumplir con los objetivos que tiene la residencia, que es proporcionar un perfil y carácter en el prospecto a ingeniero mecánico tal que pueda enfrentarse a las exigencias venideras en un trabajo donde uno como ingeniero tiene que fungir.



## 11.0 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y VIRTUALES

Turbomáquinas Hidráulicas, Turbinas Hidráulicas, Bombas, Ventiladores. MATAIX, C

Turbomachinery Design and Theory. Rama S. R., Gorla y Aijaz A., Khan.

### **VIRTUALES:**

[http://es.wikipedia.org/wiki/Turbina\\_Francis](http://es.wikipedia.org/wiki/Turbina_Francis)

<http://www.entradas.zonaingenieria.com/2009/05/turbinas-francis.html>

[http://es.wikipedia.org/wiki/Central\\_hidroel%C3%A9ctrica](http://es.wikipedia.org/wiki/Central_hidroel%C3%A9ctrica)



## 12.0 ANEXOS

### 12.1 ANEXO 1

#### ANEXO 1


	
<b>C. H. MANUEL MORENO TORRES, CHICOASÉN. DEPARTAMENTO MECANICO ORDEN DE TRABAJO</b>	
ORDENADO POR:	
ANOMALÍA (ORDEN):	
FECHA DE INICIO:	FECHA DE TÉRMINO:
NOMBRE DEL EJECUTANTE:	
PARTE DEL PROCESO (SISTEMA):	UNIDAD: 1 2 3 4 5
EQUIPO:	
CONDICIÓN DEL EQUIPO:	<input type="checkbox"/> PARADO <input type="checkbox"/> DISPONIBLE
LICENCIA No.: _____	<input type="checkbox"/> LOCAL <input type="checkbox"/> SISTEMA <input type="checkbox"/> INGUNA
EQUIPO DE SEGURIDAD:	<input type="checkbox"/> CASCO <input type="checkbox"/> GAFAS <input type="checkbox"/> GUANTES
	<input type="checkbox"/> ROPA DE TRABAJO <input type="checkbox"/> PROTECTORES AUDITIVOS
HERRAMIENTA Y MATERIAL UTILIZADO:	
PERSONAL QUE INTERVINO:	
DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO REALIZADO:	
OBSERVACIONES:	
REALIZÓ:	CONFORME:
NOMBRE:	NOMBRE:
FIRMA:	FIRMA:

Figura 121.- orden de trabajo para poder realizar en cualquier mantenimiento en los equipos de toda la unidad generadora.