



REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

UNIDAD ACADÉMICA CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

**PROYECTO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:
INGENIERO INDUSTRIAL MENCIÓN EN MANTENIMIENTO MECÁNICO**

TÍTULO DEL PROYECTO

**RECONSTRUCCIÓN DE COJINETES DE DESLIZAMIENTO DE LA TURBINA
TURBODYNE DEL TERCER MOLINO DEL TRAPICHE "B" EN EL INGENIO SAN
CARLOS MEDIANTE EL PROCESO DE FUNDICIÓN CENTRIFUGA.**

AUTORES: ANDRADE PEÑA SERGIO DENNIS
SALAZAR QUIJIJE PEDRO JACINTO

TUTOR: Ing. José Antonio Granizo

MILAGRO, JULIO DEL 2012

ECUADOR

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR.

En calidad de TUTOR de proyecto de investigación, nombrado por el Consejo Directivo de La Unidad de Ciencias de la Ingeniería de La Universidad Estatal de Milagro.

CERTIFICO:

Que procedí al análisis del proyecto con el título de estudio de RECONSTRUCCIÓN DE COJINETES DE DESLIZAMIENTO DE LA TURBINA TURBODYNE DEL TERCER MOLINO DEL TRAPICHE "B" EN EL INGENIO SAN CARLOS MEDIANTE EL PROCESO DE FUNDICIÓN CENTRIFUGA presentado como requerimiento previo a la aprobación y desarrollo de la investigación para optar por el título de: Ingeniero Industrial mención Mantenimiento; el mismo que considero debe aceptarse por cumplir con los requisitos legales y por la importancia del tema.

Presentado por los Señores:

Andrade Peña Sergio

Dennis

C.I. 1206364596

Salazar Quijije Pedro

Jacinto

C.I. 0924267479

TUTOR:

Ing. José Antonio Granizo

C.I. 0600868921

Milagro, 09 de julio del 2012



DECLARACIÓN JURADA DE LOS AUTORES.

Por medio de la presente declaramos ante el Consejo Directivo de La Unidad Académica Ciencias de la Ingeniería de La Universidad Estatal de Milagro, que el trabajo presentado es de nuestra propia autoría, no contiene material escrito por otra persona al no ser el referenciado debidamente en el texto; parte de él o en su totalidad no ha sido aceptado para el otorgamiento de cualquier otro diploma de una institución nacional o extranjera.

Milagro, 09 de julio del 2012

Andrade Peña Sergio

Dennis

C.I. 1206364596

Salazar Quijije Pedro

Jacinto

C.I. 0924267479



UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO
UNIDAD ACADÉMICA CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
CERTIFICACIÓN DE DEFENSA.

EL TRIBUNAL EXAMINADOR previo a la obtención del título de: **INGENIERO INDUSTRIAL MENCIÓN MANTENIMIENTO**, otorga al presente PROYECTO EDUCATIVO las siguientes calificaciones:

TRABAJO ESCRITO.....	[]
EXPOSICIÓN ORAL.....	[]
TOTAL.....	[]
EQUIVALENTE.....	[]

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

PROFESOR DELEGADO

PROFESOR DELEGADO

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a DIOS quien nunca se ha apartado de mi camino, y a pesar de todo nos regala su infinita misericordia, A mi querida madre que no ha dejado jamás de creer en mí, a mi padre, mi esposa, mi hijo y mis hermanos por su apoyo diario e incondicional.

A mis queridos amigos que son parte de mi familia, aunque no nos unen lazos sanguíneos los considero mis hermanos y a todos quienes con sus consejos y críticas constructivas han colaborado a mi formación profesional.

Andrade Peña Sergio Dennis

DEDICATORIA

Dedico mi trabajo de tesis a mi querido Dios por haberme brindado eso tan bello que se llama VIDA, a mi adorada madre por formarme como una persona correcta útil para la sociedad, a mi familia por siempre brindarme su apoyo incondicional, a mi adorada esposa e hijo por ser el motivo de inspiración que me impulsan a seguir superándome cada día más como persona y profesional, y finalmente quisiera dedicar mi trabajo de tesis a mis amigos y compañeros de labores por haberme colaborado de una forma u otra para hacer de este proyecto una gran realidad.

Salazar Quijije Pedro Jacinto

AGRADECIMIENTO

Queremos expresar nuestros sinceros agradecimientos a DIOS quien nos regala con cada día un nuevo sueño y una nueva esperanza.

A nuestra institución educativa UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO por influir en nuestro crecimiento como profesionales honestos y trabajadores y con deseos infinitos de servir a nuestra sociedad.

Al INGENIO SAN CARLOS, que nos abrió sus puertas y nos formo como buenos profesionales y nos enseñó la importancia del trabajo en equipo.

A nuestros queridos compañeros Ingenieros y maestros mecánicos quienes siempre están dispuestos a brindarnos sus experiencias y conocimientos.

A nuestro Tutor y profesores de la UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO quienes día a día han trabajado para enriquecer nuestros valores e intelecto.

Gracias queridos amigos por estar con nosotros a lo largo de este hermoso e invaluable camino llamado vida.

Andrade Peña Sergio Dennis

Salazar Quijije Pedro Jacinto

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Licenciado,

Jaime Orozco Hernández

Rector de la Universidad Estatal de Milagro

Presente.

Mediante el presente documento, libre y voluntariamente procedemos a hacer entrega de la Cesión de Derecho del Autor del Trabajo realizado como requisito previo para la obtención de nuestro Título de Tercer Nivel, cuyo tema fue RECONSTRUCCIÓN DE COJINETES DE DESLIZAMIENTO DE LA TURBINA TURBODYNE DEL TERCER MOLINO DEL TRAPICHE “B” EN EL INGENIO SAN CARLOS MEDIANTE EL PROCESO DE FUNDICIÓN que corresponde a la Unidad Académica Ciencias de la ingeniería Industrial.

Milagro, 09 De junio del 2012

Andrade Peña Sergio

Dennis

C.I. 1206364596

Salazar Quijije Pedro

Jacinto

C.I. 0902548957

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDOS	PÁG.
Portada	i
Certificación del autor	ii
Declaración jurada de los autores	iii
Certificación de la defensa	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vii
Cesión de derecho del autor de la UNEMI	viii
Índice General.	ix
Simbología	xiii
Índice de figuras.	xiv
Índice de cuadros	xvi
Resumen.	xviii
Introducción	1
CAPITULO I	
EI PROBLEMA	
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1.1. Problematización	3
1.1.2. Delimitación del problema	5
1.1.3. Formulación del problema	6
1.1.4. Sistematización del problema	6
1.1.5. Determinación del tema	7
1.2. OBJETIVOS	

1.2.1. Objetivo general	7
1.2.2. Objetivos específicos	7
1.3. JUSTIFICACIÓN	
1.3.1. Justificación de la investigación	8
CAPÍTULO II	
MARCO REFERENCIAL	
2.1. MARCO TEÓRICO	10
2.1.1. Antecedentes históricos	10
2.1.2. Antecedentes referenciales	12
2.2. MARCO CONCEPTUAL	
2.3. HIPÓTESIS Y VARIABLE	39
2.3.1. Hipótesis general	39
2.3.2. Hipótesis particular	40
2.3.3. Declaración de variables	40
2.3.4. Operacionalización de las variables	40
CAPÍTULO III	
MARCO METODOLÓGICO	
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	43
3.2. LA POBLACIÓN Y LA MUESTRA	44
3.2.1. Características de la población	44
3.2.2. Delimitación de la población	44
3.2.3. Tipo de muestra	44
3.2.4. Tamaño de la muestra	44

3.2.5. Proceso de selección	45
3.3. LOS MÉTODOS Y LAS TÉCNICAS	45
3.3.1. Métodos teóricos	45
3.3.2. Métodos empíricos	46
3.4. PROCESAMIENTO ESTADÍSTICO DE LA INFORMACIÓN	46

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL	47
4.2 ANÁLISIS COMPARATIVO, EVOLUCIÓN, TENDENCIA Y PERSPECTIVAS	50
4.3 RESULTADOS	50
4.4 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS	53

CAPÍTULO V

PROPUESTA

5.1 TEMA	55
5.2 FUNDAMENTACIÓN	55
5.3 JUSTIFICACIÓN	56
5.4 OBJETIVOS	57
5.5 UBICACIÓN	57
5.6 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD	55
5.7 DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA	64
5.7.1 Actividades	64
5.7.2 Recursos, análisis financiero	76

5.7.3 Impacto	77
5.7.4 Cronograma	78
5.7.5 Lineamiento para evaluar la propuesta	80
CONCLUSIONES	81
RECOMENDACIONES	82
BIBLIOGRAFÍA	83
ANEXOS	84

SIMBOLOGÍA

“	Representación para pulgadas
Hz	Frecuencia
m/s	Metros por segundo
V	Voltios
A	Amperios
°C	Grados centígrados
mm	Milímetros
ΔT	Variación de temperatura
Pas	Pascal
Kg	Kilogramos
Kg/cm ²	Kilogramo por centímetro cuadrado
Q	Caudal
V	Velocidad
s	Segundos
°F	Grados Fahrenheit
Pb	Plomo
Sn	Estaño
Vd	Velocidad de deslizamiento
μm	Micras
HP	Caballos de fuerza
Rpm	Revoluciones por minuto
Gpm	Galones por minuto

ÍNDICE DE FIGURAS

		PÁG.
Figura 1.	Eje de rotor de turbina.	11
Figura 2.	Cojinetes de deslizamiento.	11
Figura 3.	Turbina de vapor Turbodyne.	13
Figura 4.	Reductor de Turbogenerador numero 2.	14
Figura 5.	Generador turbogenerador numero 2.	15
Figura 6.	Rotor de turbina.	16
Figura 7.	Vista superior de laberintos de turbina.	18
Figura 8.	Rotor previo al proceso de armado de disco.	19
Figura 9.	Rotor de turbina alojado en sitio de trabajo.	20
Figura 10.	Cojinete de turbina lado reductor.	26
Figura 11.	Cojinetes reconstruidos de manera artesanal con presencia de macro porosidades en su superficie.	30
Figura 12.	Representación grafica de la turbina de vapor Turbodyne 281 WHB.	34
Figura 13.	Imagen de partes de turbina.	38
Figura 14.	Método de aplicación manual de magnolia fundida por cautín.	49
Figura 15.	Análisis macro de un cojinete reconstruido con cautín.	50
Figura 16.	Cojinete de fricción recubierto con Babbitt y rectificada expuesta 10 segundos al ataque químico, con 10x=375um de aumento.	51
Figura 17.	Cojinete de fricción cubierto con Babbitt y sin rectificar expuesta 10 segundos al ataque químico, con 10x=375um de aumento. Lado. Der. Interface entre el recubrimiento y el metal base.	51
Figura 18.	Micro estructura del recubrimiento babbitt base Sn atacado con nital 5 (110 ^x) expuesto a 15 segundos al ataque químico	52
Figura 19.	Bronce fosfórico atacado tres minutos con nital 2	52
Figura 20.	Diagrama de fases plomo – estaño.	53
Figura 21.	Diagrama estadístico, aplicado según regla de decisión.	53
Figura 22.	. Vista satelital del sector administrativo e industrial del	58

Ingenio San Carlos.

Figura 23.	Proceso de rolado y rectificado de cara externa de dispositivo.	65
Figura 24.	Cara interna de dispositivo rectificadas.	65
Figura 25.	Eje de dispositivo.	66
Figura 26.	Tapa inferior de dispositivo.	66
Figura 27.	Aislante térmico de lana mineral.	67
Figura 28.	Polímeros porta resistencias.	67
Figura 29.	Dispositivo móvil	68
Figura 30.	Puntos centrantes de dispositivo móvil.	68
Figura 31.	Redes de resistencias eléctricas.	69
Figura 32.	Método de sujeción de los cojinetes dentro del dispositivo.	69
Figura 33.	Bocín de acero inoxidable empleado para conseguir espesor del recubrimiento.	70
Figura 34.	Tapa superior de dispositivo móvil.	70
Figura 35.	Vista inferior del dispositivo durante su construcción.	71
Figura 36.	Cajera superior diseñada para facilitar la entrada y salida del cojinete reconstruido.	71
Figura 37.	Máquina para reconstrucción de cojinetes.	72
Figura 38.	Peso del babbitt antes de fundir.	73
Figura 39.	Cojinete sometido a limpieza superficial.	74
Figura 40.	Cojinetes dentro del dispositivo móvil.	74
Figura 41.	Babbitt en estado líquido dentro del crisol.	75
Figura 42.	Cojinete revestido durante su maquinado final.	76

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Características técnicas de una turbina.	5
Cuadro 1.	Análisis estructural del Par tribológico.	10
Cuadro 3.	Datos técnicos de Turbina, Turbo generador numero 2.	13
Cuadro 4.	Datos técnicos de reductor del Turbogenerador numero 2.	14
Cuadro 5.	Datos técnicos de generador	15
Cuadro 6.	Proceso del mantenimiento correctivo en el turbogenerador 2	24
Cuadro 7.	Características de aceite de la turbina	25
Cuadro 8.	Matriz de diseño experimental 2 ² , cojinetes recubiertos magnolia INFRANGA	42
Cuadro 9.	Composición química de la magnolia INFRANGA.	47
Cuadro 10.	Características técnicas de la magnolia INFRANGA.	48
Cuadro 11.	Datos técnicos de bronce fosfórico (Cu 94/Sn 6).	48
Cuadro 12.	Descripción del proyecto.	59
Cuadro 13.	Detalle de la inversión.	59
Cuadro 14.	Cronograma de desembolso.	60
Cuadro 15.	Presupuesto del proyecto.	61
Cuadro 16.	Plan de financiamiento.	61
Cuadro 17.	Estado de resultados.	62
Cuadro 18.	Flujo de fondos.	63

ÍNDICE DE FORMULAS

Fórmula 1.	Ecuación para determinar el tamaño de muestra.	44
Fórmula 2.	Regla de decisión	54



UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

**UNIDAD ACADÉMICA CIENCIAS DE LA INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA
INDUSTRIAL MENCIÓN MANTENIMIENTO**

Autores:

Andrade Peña Sergio Dennis

Salazar Quijije Pedro Jacinto

Tutor:

Ing. José Antonio Granizo

RESUMEN

En el presente trabajo se ha realizado un estudio analítico, constructivo e investigativo con la finalidad de resolver uno de los problemas generados en la Compañía Sociedad Agrícola e Industrial “San Carlos”, debido a las paradas no programadas en equipos considerados de alta criticidad, como lo son las turbinas a vapor. Las turbinas que son la fuerza motriz para accionar tanto los molinos y un gran aporte en la generación de energía eléctrica mediante la co-generación a partir de la Biomasa.

La turbina a vapor dentro de sus elementos constitutivos como lo son el eje, el rotor, los elementos de sello y lubricación, los cojinetes de apoyo del eje, los mismos que se tornan uno de los elementos más importantes de este equipo y es el objetivo de nuestro estudio.

Los cojinetes mencionados entran dentro de la categoría de deslizamiento. Generalmente son construidos en una base metálica revestidos con una aleación de base estaño (metal magnolia). Dentro de las características que debe tener este recubrimiento son: tener una buena adherencia al metal, libre de porosidades y depositado de una forma homogénea y con un coeficiente de fricción sumamente bajo y un buen acabado superficial. Cuando se presentan incidentes ya sea falla de lubricación o claros muy ajustados o desgaste en el tiempo, se suelen reconstruir estos cojinetes en forma artesanal aplicando una nueva capa de magnolia manualmente, la misma que a pesar de tener todas las precauciones nos queda con macro porosidades lo que nos crea grandes irregularidades y muchas veces baja durabilidad del cojinete. Este tipo de recuperación de chapas nos da una baja confiabilidad que a su vez nos da una turbina con baja disponibilidad.

Una falla repentina de los cojinetes por una mala fundición nos puede causar daños catastróficos a nivel de eje y sellos de vapor, además de los costos por lucro cesante por lo que se deja de producir, traducido en dólares por saco es una pérdida considerable.

Por lo cual en el presente trabajo vamos a demostrar de forma teórica y práctica una variante en el proceso de reconstrucción, implementando un método semiautomático empleando la fundición con acción centrífuga como proceso clave para alargar el tiempo de vida útil de los cojinetes aumentando la confiabilidad del equipo, y generando ganancias para la compañía.

La construcción de esta máquina centrífuga para la recuperación de cojinetes de deslizamiento en las turbinas a vapor marca Turbodyne modelo 281 WHB tiene como objetivo principal mejorar el par tribológico eje-cojinete, mejorando el grado de compactación de la base estaño, eliminando de esta forma las macro porosidades, presentado así un mejor acabado lo cual va a permitir reducir notablemente los riesgos de paradas imprevistas mejorando su confiabilidad y por ende su disponibilidad, con estos índices mejoramos la eficiencia de los equipos indicados al final en beneficio económico.

ABSTRACT

This work was carried out an analytical study, construction and research in order to solve one of the problems generated by the Agricultural Society and Industrial Company "San Carlos", due to unscheduled downtime considered safety-critical equipment, such as what is the steam turbine. The turbines are the driving force to drive both mills and a large contribution to the generation of electricity through co-generation from biomass.

The steam turbine into its constituent elements such as the shaft, the rotor, the seal members and lubricating the bearings of the shaft, the same turn one of the most important elements of this machine and is the target of our study.

Bearings mentioned fall under the category of sliding. Are generally built on a base metal coated with a based tin (metal magnolia). Within the feature that should have this coating are having good adhesion to metal, free from porosity and deposited in a homogeneous and an extremely low coefficient of friction and good surface finish. When incidents occur either clear failure of lubrication or too tight or wear over time, these bearings are usually reconstructed in the traditional way by applying a new coat of magnolia manually, the same as in spite of every precaution we are left with macro porosity which we have great irregularities and often low durability of the bearing. This type of recovery sheet gives a low reliability which in turn gives a turbine with low availability.

A sudden failure of the bearings by bad casting we can cause catastrophic damage at the shaft and steam seals, plus costs for lost profits so it stops producing, per sack resulted in a considerable loss.

Therefore in this paper we will demonstrate in theory and practice a variant in the reconstruction process, implementing a semiautomatic method using the centrifugal casting action as a key process to lengthen the lifespan of the bearings increase reliability equipment, and generate profits for the company.

The construction of this machine spins to recover plain bearings in steam turbines make 281 WHB Turbodyne model's main objective is to improve the tribological pair-bearing axis, enhancing the degree of compaction of the base tin, eliminating how the macro porosity, and presented a better finish which will allow to significantly reduce the risks of unplanned downtime by improving their reliability and therefore their availability, these indices improved the efficiency of the equipment listed at the end in profit.

INTRODUCCIÓN

En los tiempos actuales el régimen de calidad en los distintos procesos de producción trae consigo el manejo adecuado de indicadores de gestión tales como; confiabilidad y disponibilidad de los equipos, estos garantizan un menor tiempo perdido en la elaboración de un producto determinado. Bajo estas premisas se hace indispensable alargar la vida útil de las diferentes partes y elementos que constituyen una maquina, optimizando su ciclo de vida para lo cual se utilizan técnicas de reconstrucción.

Haciendo un análisis de fallas en equipos, encontramos que el desgaste y la fractura por fatiga constituyen el 90 % de las causas de paros imprevistos de las maquinas. Es por ello que se busca contar con aleaciones resistentes no solo a los esfuerzos producidos por el trabajo si no también a los distintos esfuerzos tribológicos conocidos.

Existen diversos modelos tribológicos que pueden servir como patrón para realizar una programación de mantenimiento, por poner en mención un par tribológico conocido como lo es el Árbol – Cojinete de deslizamiento el mismo que es uno de los sistemas más elementales, donde el desgaste es gradual por lo que se puede crear una cartilla de mantenimiento mínimo.

El objetivo de nuestro estudio de particular atención en el Ingenio San Carlos específicamente en una de las turbinas de mayor uso es decir la Turbodyne 281 WHB, esta es la más utilizada dentro del proceso de producción de azúcar. El equipo en mención presenta unos elementos críticos como son los cojinetes de apoyo del eje del rotor, los cuales se ubican dentro de la clasificación de cojinetes de deslizamiento, estos poseen un recubrimiento de babbitt que es una aleación base estaño, el desgaste eminente de estos se detecta por la excesiva holgura con respecto al eje del rotor, por otro lado si se presenta una falla de lubricación el desgaste suele ser acelerado hasta llegar al desprendimiento de la capa de babbitt.

Estas chapas suelen reconstruirse en forma artesanal mediante el método de aporte de magnolia fundida con cautín, pero este recubrimiento presenta muchas porosidades y discontinuidades que afectan al sistema de apoyo y por ende no logra cubrir en forma adecuada el área de lubricación del cojinete fallando prematuramente.

El estudio principal de esta tesis es optimizar una aleación bimetálica anti fricción para la reconstrucción de cojinetes, los que son utilizados en la Turbina 281 WHB, utilizando un proceso automatizado con criterio centrifugo.

La aportación del colado por fuerza centrifuga nos trae una serie de ventajas, entre las cuales podemos destacar un aporte homogéneo, con cero porosidades y mejor acabado en toda su superficie, eliminando esa vieja práctica artesanal de aporte manual por caudín.

Estimamos que este proyecto de investigación científico y sistemático nos traerá los siguientes aportes:

- ✦ Una nueva metodología de reconstrucción de cojinetes, que incluye la selección del porcentaje de los elementos que forman la fusión.
- ✦ La caracterización de la micro-estructura de la aleación obtenida del babbitt base estaño.
- ✦ Elaboración de una carta de proceso tecnológico.
- ✦ Diseño y construcción de una maquina de fundición centrifuga, para el proceso de reconstrucción.

CAPITULO I

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

1.1.1. Problematización.

Para evitar paradas no planificadas en la turbina de vapor del tercer molino del trapiche “B” del ingenio San Carlos nos hemos planteado un sistema automatizado para revestir sus cojinetes de deslizamiento donde se pueda realizar la aplicación del babbitt de forma centrifuga mejorando la calidad en el acabado de los cojinetes.

El ingenio San Carlos cuenta con dos áreas de molinos denominadas trapiches “A” y “B” respectivamente para realizar la extracción del jugo de caña se emplean mazas las cuales tienen como fuerza motriz de sus transmisiones a las turbinas de vapor, dentro de este equipo podemos encontrar componentes vitales como son los cojinetes de deslizamiento los cuales por efecto de trabajo tienden a desgastarse, para la recuperación de este elemento se emplea un revestimiento con babbitt, el mismo que es aplicado de forma manual mediante el proceso de aporte de babbitt fundido por caudín, en esta etapa de reparación se forman gases tóxicos que disminuyen en gran intensidad la calidad de aire del lugar, además el acabado que se obtiene mediante este proceso es deficiente, a consecuencia de no poder controlar adecuadamente las variables que intervienen en el proceso, tales como temperatura y velocidad de aplicación es así que se generan porosidades macroscópicas, las cuales afectan directamente sobre la calidad de lubricación del sistema produciéndose un contacto directo entre el eje y el cojinete, dando como resultado el desprendimiento del recubrimiento y la parada del equipo.

En temporada de reparación en todas las secciones del departamento de fábrica se realiza un mantenimiento correctivo a todos los equipos principalmente a las turbinas en donde se revisan claros axiales y radiales, se analiza el estado de los cojinetes de deslizamiento, si estos muestran un claro superior a 0.18mm (0.007”) se debe rellenar o volver a revestir con babbitt su superficie de contacto, al realizar esta reconstrucción de forma artesanal surgen los siguientes problemas

- Deformación del cojinete por exceso de temperatura.
- Contaminación del cojinete durante el proceso de revestido.
- Exceso de tiempo empleado durante el proceso.
- Discontinuidad en la aplicación del recubrimiento de babbitt.
- Presencia de macro porosidades en el acabado final del cojinete.
- Intoxicación por presencia de gases por fundición del babbitt y aplicación de ácido fosfórico.

Dentro de un cojinete de deslizamiento las micro porosidades que quedan luego de la reconstrucción son buenas, ya que el lubricante se aloja en estos espacios mejorando su nivel de lubricación, como se menciona el problema se da cuando las porosidades son de carácter macro. El continuo trabajo al que se ve sometidas las turbinas en el periodo de zafra hace que las macro porosidades que quedan luego de reconstruir los cojinetes, se tornen críticas, producto del esfuerzo realizado por los cojinetes durante este tiempo. Un efecto producido por este factor es el aumento de temperatura debido a que el eje no está literalmente flotando sobre la capa de aceite que lo separa del cojinete como actuaría en condiciones de operación normales, por ello existe un contacto directo entre estas superficies metálicas, haciendo que la lubricación forzada de veinte psi que se le proporciona al sistema resulte deficiente, si este problema no es resuelto, es decir realizar la parada del equipo para sustituir el juego de cojinetes fatigados, se podría presentar el desprendimiento total del recubrimiento ocasionando daños considerables en el equipo.

Con el daño de la turbina de vapor del tercer molino del trapiche "B" del Ingenio San Carlos, se pierde capacidad en la extracción de sacarosa, esto trae como consecuencia que el bagazo que se genera con un molino inoperativo, salga húmedo debido al jugo que aún queda en él, perdiendo capacidad calorífica al enviarlo a las calderas para el proceso de obtención de vapor, también el costo por sacos de azúcar dejados de producir es un factor considerable directamente proporcional al tiempo de parada del molino.

Además cabe mencionar que, el daño que se puede producir en la turbina, dentro de sus piezas móviles, según la gravedad de la falla puede tomar entre horas o hasta días para lograr corregirlo.

Con el proceso de metalización por fusión obtendremos un acabado de calidad en los cojinetes reconstruidos, un mayor tiempo de vida útil, más confiabilidad y disponibilidad de la turbina.

1.1.2. Delimitación del problema.

Este trabajo de investigación teórico práctico se enfoca a la selección de un método de reconstrucción para los cojinetes de deslizamiento que utiliza la turbina de vapor del tercer molino del trapiche “B” del Ingenio san Carlos marca Turbodyne, a continuación se presenta una tabla en la que podemos apreciar los datos técnicos de la maquina en estudio:

Cuadro 1. Características técnicas de una turbina.

DATOS TECNICOS DE LA TURBINA DE VAPOR	
Marca	Turbodyne
Serial	32871
Modelo	281 WHB
HP Rating	900
Sentido de giro (observando al gobernador al final de la turbina)	Contra las manecillas del reloj
Condición de vapor de entrada	220 psi ; 500°F
Condición de vapor de salida	20 psi
Material	cuerpo de acero
Bomba auxiliar de aceite	4.5 gpm ; 28psi
Cantidad de agua requerida para el intercambiador	10 gpm ; 90 °F

Luego del análisis realizado se concluye que el método de fundición centrífuga proporciona una uniformidad micro estructural de sus componentes y ausencia de porosidades.

1.1.3. Formulación del problema.

Los cojinetes de deslizamiento de la turbina Turbodyne 281 WHB reconstruidos mediante el método de recargue por caudín, debido a la inadecuada selección de los porcentajes de sus componentes y del método manual utilizado para el recargue sufre un desgaste prematuro, por lo cual se plantea las siguientes interrogantes:

- ⤴ ¿Cuál es el porcentaje óptimo de los constituyentes de la aleación que proporcione mejores propiedades tribológicas?
- ⤴ ¿Cuál será el comportamiento de la aleación obtenida por el método de fundición centrífuga vertido sobre la superficie del cojinete motivo a reconstruir?

1.1.4. Sistematización del problema.

Luego de analizar los sub problemas que se presentan con respecto a los cojinetes de nuestra turbina, planteamos las siguientes preguntas:

- ⤴ ¿Se puede continuar con la producción, si fallan los cojinetes de apoyo de la turbina?
- ⤴ ¿Afectará esta situación la calidad del producto final?
- ⤴ ¿Podría generarse alguna situación de riesgo para el operador de la turbina?
- ⤴ ¿Mejorará la reconstrucción de los cojinetes con la implementación de un equipo automatizado?
- ⤴ ¿La implementación de este equipo, para la reconstrucción de cojinetes de deslizamiento incrementara fiabilidad y disponibilidad de la turbina?

1.1.5. Determinación del tema.

SECTOR: INDUSTRIAL.

DEPARTAMENTO: FABRICA.

PROYECTO: RECONSTRUCCIÓN DE COJINETES DE DESLIZAMIENTO DE LA TURBINA TURBODYNE DEL TERCER MOLINO DEL TRAPICHE “B” EN EL INGENIO SAN CARLOS MEDIANTE EL PROCESO DE FUNDICIÓN CENTRIFUGA.

1.2. OBJETIVOS.

1.2.1. Objetivo general.

Reconstruir los cojinetes de deslizamiento de la turbina Turbodyne 281 WHB del tercer molino del trapiche B del Ingenio San Carlos mediante el proceso de fundición centrífuga.

1.2.2. Objetivos específicos.

- Estudiar las condiciones de explotación bajo las cuales se encuentran los cojinetes.
- Seleccionar el método para la reconstrucción de los cojinetes.
- Diseñar la máquina para la reconstrucción de los cojinetes mediante el proceso de fundición centrífuga.
- Construir la máquina.
- Calibrar la máquina.
- Realizar el proceso de reconstrucción.
- Estudiar la micro estructura de la aleación del babbitt base estaño.
- Preparar una carta tecnológica del proceso de reconstrucción.

1.3. JUSTIFICACIÓN.

1.3.1. Justificación de la investigación

Mediante este trabajo de investigación teórico-práctico queremos solucionar un problema que persiste por años en el Ingenio San Carlos, incrementando la disponibilidad operacional de los cojinetes de deslizamiento de las turbinas de vapor, estos se encuentran sometidos a un alto nivel de trabajo por lo que es necesario utilizar un sistema de lubricación forzado para crear una película hidrodinámica entre el eje y el cojinete.

Actualmente existen una amplia gama de procesos tecnológicos para realizar la reconstrucción de los cojinetes los que consisten básicamente en la aplicación de materiales anti fricción sobre las superficies a recuperar, estos equipos están estrechamente ligados al costo que impone cada fabricante de acuerdo al avance tecnológico que posea, entre estos podemos mencionar como el más simple al proceso babbitado por gravedad, hasta llegar a uno de los más complejos como lo es la aplicación de material anti fricción con plasma. Luego de realizar un análisis de costos – beneficios se decidió implementar un nuevo método mediante colada centrifuga, este proceso nos garantizará un excelente acabado superficial, libre de porosidades

Viabilidad técnica.

Este proyecto de reconstrucción de cojinetes de deslizamiento que se implementa dentro del departamento de fábrica del Ingenio San Carlos resulta factible ya que se cuenta con el apoyo técnico del departamento de maquinarias mas los aportes que nos brinda nuestro tutor, además se ha fusionado el conocimiento técnico, teórico y práctico del personal de supervisión y de los señores maestros mecánicos. Con la implementación de nuestra tesis se nos permitirá aplicar los fundamentos teóricos recibidos dentro de las aulas de la Universidad Estatal de Milagro.

Viabilidad económica.

Dentro del departamento de fábrica del Ingenio San Carlos se ha recibido el total apoyo para la implementación de este proyecto, el mismo que ha sido financiado en gran parte por la empresa.

Además contamos con el acceso a planos, guías, catálogos y una gran gama de información que enriquecen nuestro conocimiento acerca de las variables que afectan a nuestro proyecto.

CAPITULO II MARCO REFERENCIAL.

2.1. MARCO TEÓRICO.

2.1.1 Antecedentes históricos.

Cada año se invierte miles de dólares en la reparación de equipos en el departamento de fábrica del Ingenio San Carlos, con el fin de evitar paradas no planificadas en el periodo de zafra, ya que un daño en los equipo ocasionaría pérdidas considerables por la millonaria inversión que tiene esta empresa para su funcionamiento.

A lo largo de los años se han presentado muchas fallas por cojinetes los mismos que se han visto afectados por factores externos que los han llevado a su posterior fundición ocasionando daños significativos en las turbinas, Es importante conocer a fondo los elementos que componen el sistema móvil de la turbina de vapor ya que gracias a esto se pueden elegir los materiales adecuados para su optima reconstrucción.

En el periodo de zafra 2011, uno de los turbo generadores presento una falla en los cojinetes, estos se fundieron y ocasionaron ralladuras en el eje, teniendo este equipo parado varios días.

Con la investigación que se plantea buscamos evitar paradas no planificadas que comprometan la producción de la fábrica, a continuación presentamos un desglose de los componentes que intervienen dentro del par tribológico eje – cojinete de la turbina.

Cuadro 2. Análisis estructural del Par tribológico.

Elemento	Material	Dureza HB	Mod. Elasticidad GPA	Coefficiente de Poison	Diametro mm	rpm	Longitud mm	Fuerza N
Cojinete	Bronce con Magnolia	100	106	0,46				
Arbol	Acero 4140	300	207	0,3	76	3600	900	93,42 21lb

Eje de transmisión.

- Material: ACERO AISI 4140
- Diámetro: 76mm
- Longitud: 900mm



Figura 1. Eje de rotor de turbina.

Cojinetes de deslizamiento del eje.

- Material: Bronce recubierto con aleación base estaño
- Diámetro interno: 76.11mm
- Diámetro externo: 114mm
- El recubrimiento es de 1.59mm (1/16") por radio



Figura 2. Cojinetes de deslizamiento.

2.1.2 Antecedentes referenciales.

Se realizó un informe de un problema real que se presentó dentro del departamento de Fábrica del Ingenio San Carlos con respecto a una turbina de vapor la cual se sometió a una inspección completa.

Al finalizar la zafra 2010 se presentaron problemas inicialmente atribuibles al sistema de regulación de la turbina, por lo que salió fuera de servicio, se revisó el actuador UG-40. Con La finalidad de probarlo durante la zafra del 2011.

Previo al arranque del zafra del 2011 se hizo ajustes en el controlador 2301D y se hicieron pruebas con rechazo de carga y se lo operó en los primeros días de esta zafra, presentando problemas de vibración excesiva y fallas en sistema de regulación, con disparos continuos en el cual actuaba la protección por sobre velocidad. La vibración era evidente a simple vista y no se la cuantificó

Descripción de la turbina.

Esta turbina representa un equipo crítico en el proceso de producción del ingenio balanceando el vapor y de esta forma se aprovecha de mejor manera la energía para poder suministrar la venta de energía eléctrica.

Esta turbina recibe vapor de 220 Psi a 260 °C (500 °F) cumple con la función de transformar la energía térmica del vapor en energía mecánica y transmitir potencia al reductor para hacer girar al generador para la obtención de la energía que se va a distribuir uniformemente para el consumo energético dentro los establecimientos de la empresa, entre los datos técnicos de los equipos ya mencionados tenemos:



Figura 3. Turbina de vapor Turbodyne.

Cuadro 3. Datos técnicos de Turbina, Turbo generador número 2.

MARCA: Turbodyne	FRAME: 1TQ5
HP: 4000 KW	RPM: 4600
IN LET PRESS: 190 Psi	EXH PRESS: 20 Psi
IN LET TEMP: 500 °F	EXH PRESS: 260
TRIP SPEED: 5065	ORDER NO: UE19518
IST. CRIT.: 2469	2ND CRIT. RPM: 10447



Figura 4, Reductor de Turbogenerador número 2.

Cuadro 4. Datos técnicos de reductor del Turbogenerador número 2.

MARCA: TURBODYNE	GEAR SERIAL No.: 32890
HP: 4000KW	FORM: 1- 7
FACTOR SERVICIO: 1.1	RATIO: 3.837
PINION RPM: 4605	GEAR RPM: 1200



Figura 5. Generador turbogenerador número 2.

Cuadro 5. Datos técnicos de generador.

MARCA: WEG		MODELO: SPW	
KVA: 5000		RPM: 1200	
HZ: 60		NÚMERO DE SERIE: 139614	
ESTATOR:			
V: 4160	A: 693.6	COSY	
EXCITACIÓN PRINCIPAL			
V: 75	A: 9.6	LIG	
EXCITACIÓN DE X			
ALT: 100m	ΔT: 100°C	IP: 54	MASA: 21.1 TON.

Detalles de mantenimiento.

La vibración en una turbina de vapor no es una avería en sí misma, sino un síntoma de un problema que existe en la turbina y que puede derivar en graves consecuencias.

Por el síntoma presente de exceso de vibración en este equipo se procede a realizar la revisión del mismo, se desmonta la tapa del cojinete posterior observándose **la chapa fundida y el eje de la turbina donde se asienta la chapa con ralladuras profundas, lo cual nos inducía una falla de lubricación**

En el último análisis de aceite se tiene como resultado la presencia de condensado, según principios de tribología tenemos que una de las funciones del aceite en esta turbina es lubricar todos los cojinetes de deslizamiento, tanto de la turbina, reductor y generador también en este caso especial operar el sistema óleo hidráulico de regulación de la turbina. La contaminación del aceite con condensado debido al desgaste de los sellos de laberinto en la turbina el cual permitió el paso de vapor hacia la cámara de lubricación, condensándose y mezclándose con el aceite, disminuyendo sus propiedades en forma drástica causando problemas de desgaste en los cojinetes de deslizamiento.

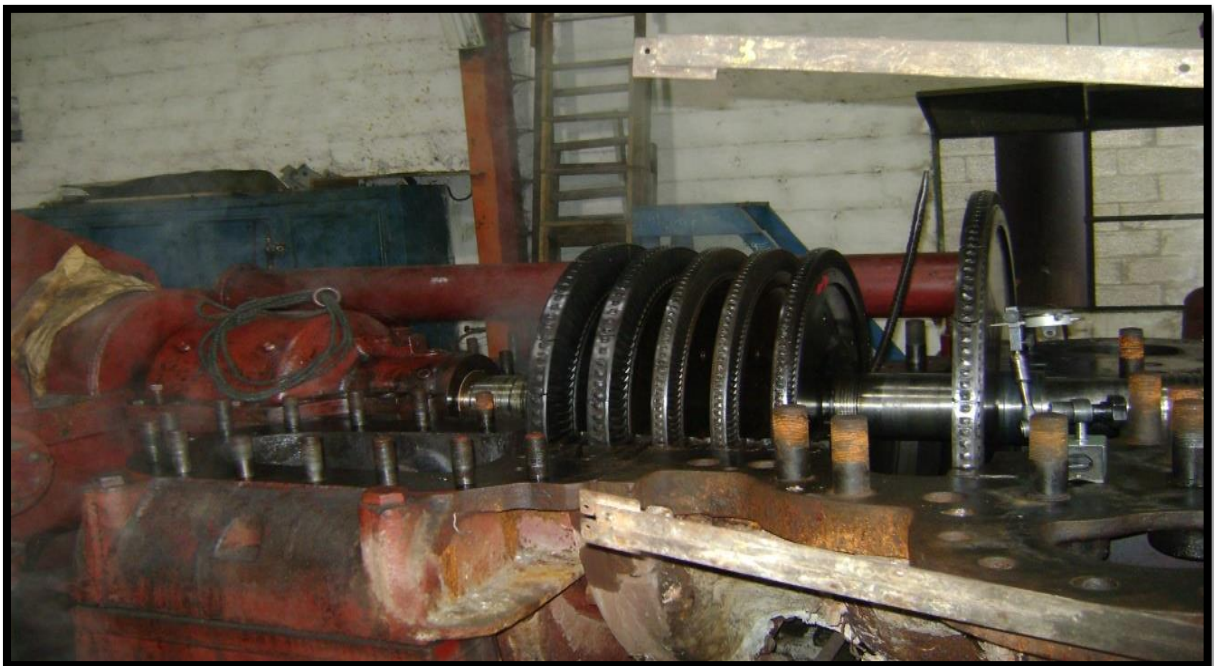


Figura 6. Rotor de turbina.

Bajo la premisa antes mencionada para atacar la fuente de contaminación del aceite tenemos que revisar la condición de los sellos de laberinto, y reparar el daño que se había producido en el eje, por lo cual era necesario realizar un mantenimiento total de la turbina, es así que se procede a desarmar la turbina, previo a la evacuación del aceite de la maquina. Luego se desmonta todo el sistema de regulación para poder desmontar la tapa con todo su conjunto de levas integral. Previo al desmontaje del rotor procedemos a realizar la toma de lecturas de los claros principales, teniendo los siguientes datos:

- 1 Juego axial se tiene: 0.33 mm (0.013")
- 2 Claro de toberas primera etapa cerrado 0.20mm (0.008")
- 3 Claro de toberas etapa abierto 0.53mm (0.021")
- 4 Radial de chapa lado gobernador (0.15mm – 0.18)mm (0.006" - 0.007")
- 5 Radial lado opuesto: se encuentra chapa fundida
- 6 Diámetro de eje lado gobernador: 82.47mm (3.247")
- 7 Diámetro interior de chapa lado gobernador: 82.65mm (3.254")
- 8 Diámetro del eje lado acoplamiento: 101.37mm (3.991")

Claros entre discos y toberas.

Se toma cuatro puntos de referencia:

- 1 Primer disco (0.38 – 0.36 – 0.33 – 0.33) mm (0.015 – 0.014 – 0.013 – 0.013").
- 2 Segundo disco (1.96 – 1.96 – 1.96 – 1.93) mm (0,077 – 0.077 – 0.077 – 0.076").
- 3 Tercer disco (1.55 – 1.51 – 1.53 – 1.53) mm (0.061 – 0.059 – 0.060 – 0.060").
- 4 Cuarto disco (1.60 – 1.63 – 1.70 – 1.65) mm (0.063 – 0.064 – 0.067 – 0.065").
- 5 Quinto disco (1.53 – 1.53 – 1.60 – 1.63) mm (0.060 – 0.060 – 0.063 – 0.064").
- 6 Sexto disco (1.98 – 1.96 – 1.96 – 1.93) mm (0.078 – 0.077 – 0.077 – 0.076").

Con las lecturas tomadas de las aberturas del primer disco de la turbina con la tobera tenemos que los claros estaban muy cerrados en relación a los datos sugeridos por el fabricante y después de hacer una inspección exhaustiva, se logra determinar que el **primer disco se había desfasado de su posición de trabajo alrededor de 0,76mm (0.030")**. Se traslada rotor libre de componentes como

acople, botoneras, sin fin, anillos de seguridad etc., a Talleres Generales para mecanizar el primer disco para su desmontaje.

Trabajo realizado por el departamento talleres generales.

- Se rectificó eje lado posterior y quedo con un **diámetro de 100.74mm (3.966")**.
- se maquina un juego de cojinetes de deslizamiento lado posterior quedo con un **diámetro interior de 100.89mm (3.972")**.
- Se desmonta primer disco luego se rellena con soldadura el diámetro interno y se lo rectifica dejándolo **con 0.23mm (0.009")** de interferencia con respecto al eje
- Se maquina anillos deflectores para laberintos con bocín de acero SAE 1045 para sustituirlos por los anillos que presentan desgaste
- Se maquina un tope para colocar delante del primer disco dejándolo **con 0.31mm (0.012") de ajuste de interferencia**
- Se preparan calibres pasa y no pasa comprobadores para comprobar la dilatación del disco en el proceso de calentamiento para montaje del disco.

Trabajo realizado por el departamento de maquinarias



Figura 7. Vista superior de los laberintos de la turbina.

- Desmontaje del rotor y elementos de la turbina.
- Limpieza y asentamiento de sellos de laberinto en sus respectivas posiciones, inclusive fue necesario remplazar resortes ya deformados por su trabajo.
- Limpieza de intercambiadores de aceite, condensador y tanque de depósito de aceite.
- Limpieza e inspección de tapa y carcasa de turbina, se retira eje de taller mecánico una vez comprobada todas las medidas, se puede apreciar en la foto el eje de la turbina con sus respectivos discos.



Figura 8. Rotor previo al proceso de armado de disco

- Ensamblaje del rotor de la primera etapa: Se preparó una cuba para poder calentar en baño de aceite al disco, con un serpentín que fue alimentado con dos equipos de oxicorte con adaptadores. Se mantenía constante el control de la temperatura con la finalidad de que el aceite que calentábamos para dilatar el disco, no llegue al punto de inflamación. Paralelamente para facilitar

el montaje, el eje se lo sometió a enfriamiento con hielo seco para conseguir que se contraiga, Colocación del tope con interferencia para asegura más estabilidad del disco con respecto al eje, montaje de anillos deflectores y demás componentes.

- Se mando a balancear rotor con acople a la compañía Vibratex, para luego proceder al montaje del mismo.
- Ajustes y calibraciones en la turbina.
- Montaje de tapa superior, sistemas de regulación y disparo.
- Se procede a colocar aceite nuevo para el sistema de lubricación y regulación de la turbina, con aceite Shell Turbo T-68 (180 galones).

Medidas de los ajustes finales de la reparación.

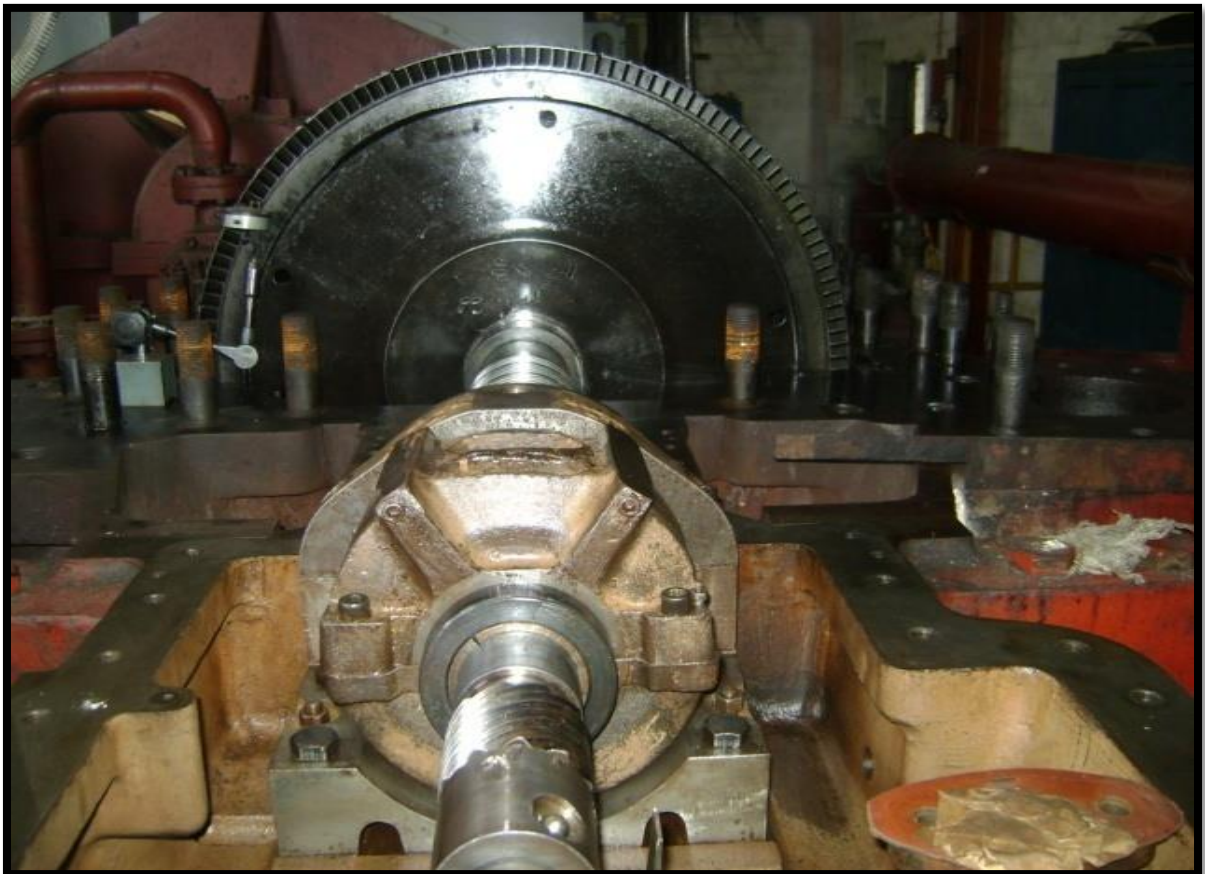


Figura 9. Rotor de turbina alojado en sitio de trabajo

1	Juego axial se tiene	0.28mm (0.011")
2	Claro de toberas primera etapa cerrado	0.99mm (0.039")
3	Claro de toberas etapa abierto	1.27mm (0.050")
4	Radial de chapa lado gobernador	0.13mm – 0.15mm (0.005"- 0.006")
5	Radial lado opuesto	0.15mm (0.006").

Pruebas y ajustes realizados.

Después de haber terminado el mantenimiento de la turbina se procede a probar el día 24 de Agosto del 2011 y quedo operando desde esta fecha con cargas que estaban dentro del rango de 0.5 a 2 MW. Pero después de hacer el monitoreo de la condición por medio de la técnica predictiva de análisis de vibraciones se observa que la tendencia cuando se subía la carga por encima de 2.5 MW. Los valores de velocidad de vibración se elevaban llegando al nivel de trabajo con precaución, por lo que después de un sin número de pruebas se toma la decisión el 7 de Octubre del 2011 de pararlo para su revisión.

Se revisa como medida preventiva los claros principales de la chapa posterior y se verifica que estaba bien. Se hace el chequeo del alineamiento de la turbina con el reductor y se detecta desalineado, tal como se recomienda se procede a alinear con calibres y reglas para luego hacer la corrección precisa con nuestro equipo de alineación láser, pero no fue factible debido a una falla presentada en el equipo, por lo que se solicita a PANASA nos ayude con su equipo de alineación y se logra alinear tanto la turbina-reductor como el reductor-generator. Se vuelve a probar, se hace el monitoreo de la vibración el 14 de Octubre del 2011 y según el reporte de VIBRATEC los valores se ubicaron en el rango critico.

Se vuelve a realizar una revisión del alineamiento y nos arroja que se había movido la alineación Reductor-generator, se vuelve a alinear con láser. El 17 de Octubre del 2011 se prueba otra vez teniendo igual valores de vibración en el rango de peligro según la norma ISO 10816-3, más crítico con el incremento de carga.

Se hace una nueva revisión y se cambian todas las laminas de cobre por laminas de acero inoxidable para alinear se convoca de nuevo a VIBRATEC y la prueba sale negativa para operación.

El 25 de Octubre del 2011 se limpia el acople entre el reductor y el generador y se observan los dientes de los engranes del acople con desgaste profundo, por lo que se saca de almacén de materiales un juego de acople Falk 1060G20 y se los mecaniza a medida de ejes de reductor y generador, se chequea alineamiento con equipo láser que nos proporcionó HIVIMAR hasta que se cumpla con la garantía de nuestro equipo con fallas. El 28 de Octubre del 2011 se prueba el Turbo número 2 pero sus valores no son satisfactorios.

Se vuelven a realizar revisión del acople entre la turbina y el reductor y se detecta que el medio acople del reductor tenía un defecto de mecanizado que tenía fuera de centro al mismo con 0.20mm (0.008”). Se procede a desarmar el reductor para poder desmontar medio acople. Al medio acople en mención se lo rectifica y se lo rellena para recuperarlo se lo mecaniza y se vuelve a armar. Se chequeo alineamiento con láser tanto en la turbina-reductor como el reductor-generador.

Datos de alineación.

Turbina-reductor:

Angular: 0.000”

Fuera de juego posición vertical: 0.10mm (0.004”) arriba el reductor

Fuera de juego posición horizontal: 0.013mm (0.0005”) reductor hacia la bodega de azúcar.

Reductor generador:

Angular: 0.013mm (0.0005”) Inferior más abierto

Fuera de juego posición vertical: 0.03mm (0.001”) arriba el Generador

Fuera de juego posición horizontal: 0.03mm (0.001”) Generador hacia la bodega de azúcar.

Después de esto el día jueves 3 de Noviembre del 2011 se prueba, pero no se le toma vibraciones con VIBRATEC, pero ya avizora una mejoría considerable, pero se lo deja en Stand by. Ya el 11 de Noviembre del 2011 se lo prueba con VIBRATEC y los valores fueron satisfactorios y se lo deja operando.

Mantenimiento correctivo del turbo generador.

Teniendo como premisa que a raíz de tener la planta de cogeneración operando, el Turbo número 2 quedo como un equipo de generación en stand by, y pasaba la mayor parte del tiempo parado. Este escenario fue propicio para mantener una falla oculta. Es a partir de finales de la zafra 2008 que se lo pone a operar en forma continua para lograr dos objetivos, uno lograr un mejor balance de vapor y por otro lado conseguir incrementar nuestra capacidad de generación de energía.

Tal como se menciona al inicio del reporte, en la zafra del 2010 tuvimos problemas serios que apuntaban al sistema de regulación, por lo que se mando a revisión el actuador UG-40, se inspeccionó el sistema de regulación y cojinetes durante la reparación del 2011 y después de operarlo con problemas al inicio de la zafra 2011, por síntomas de vibración elevada se decide a realizar el overhaul de la turbina es En donde se detecta lo siguiente:

FALLA. El primer disco de la turbina se encontró en estado flojo.

DIAGNOSTICO. Esta falla pudo haberse producido por varios factores entre ellos un vapor de mala calidad con baja temperatura, propicio para crear un golpe de agua, o otro efecto como lo es una excesiva temperatura del vapor que trabajando en forma continua puede llegar a causar la perdida de interferencia del disco con respecto al eje.

El hecho es que el primer disco de la turbina se había recorrido de su posición 0,76mm (0.030") aproximadamente y además estaba flotando, lo cual causaba vibración y perturbación al no poder sostener la carga hasta llegar al disparo por sobre velocidad. Ventajosamente se pudo recuperar esta turbina debido a la experiencia que se tenía con ensambles de rotores de turbinas de menor potencia y poder dejar el conjunto eje rotores habilitados para trabajar una vez balanceado dinámicamente.

SOLUCION. El eje en el asiento de la chapa posterior se lo rectificó, quedando totalmente pulido y totalmente cilíndrico con su claro respectivo en base a recomendación del fabricante. En el anexo 2 se aprecia el montaje del disco de la turbina, luego del proceso de ajuste y comprobación de medidas.

FALLA. Contaminación del aceite

SOLUCION. Un problema latente la contaminación del aceite con condensado, falla que también se logro corregir con la limpieza y ajuste de sellos de laberinto.

FALLA. Niveles de vibración elevado.

SOLUCION. Se realizó ajustes y comprobaciones de la alineación de la turbina con el reductor y del reductor con el generador. Pese de haber conseguido por medio de un equipo sofisticado como es el alineador láser valores excelentes de alineación, persistía el problema de valores de vibración elevado, que finalmente se pudo ver que era un problema arrastrado en un proceso de mecanizado fuera de centro en el medio acople del reductor en el lado de alta velocidad, el cual se lo recuperó con soldadura y se lo volvió a mecanizar, luego de lo cual la turbina registro valores que se ubican dentro de la norma y poder operar satisfactoriamente.

Cuadro 6. Proceso del mantenimiento correctivo en el turbogenerador 2

Mantenimiento correctivo de turbogenerador			
Aten	Falla	Solución	Equipo
1	cojinetes de deslizamiento fundidos.	Se procede a rectificar el eje de la turbina en zona de contacto con los cojinetes para eliminar las ralladuras producidas durante el desprendimiento de la capa de babbitt.	Turbina
2	Primer disco de turbina flojo	Se rectifica el eje de rotor. Se rellena la superficie interior del disco de la turbina con el proceso de soldadura por arco de metal protegido (SMAW) para poder realizar el maquinado respectivo según la medida del eje, respetando el rango de ajuste respectivo (0.30mm) Se procede a realizar la dilatación del disco de la turbina utilizando una cuba llena de aceite, se elevo la temperatura hasta 240 °C, finalmente se coloco el disco dilatado en el eje finalizando el proceso de reconstrucción.	Turbina
3	Contaminación del aceite	Se realiza labores de limpieza y ajuste de sellos de laberinto.	Turbina
4	Niveles de vibración elevados	Se realiza maquinado de medio acople, luego se procede a la alineación del equipo.	Reductor

Especificación para aceite de turbina a vapor.

Para el sistema de regulación y lubricación, deberá ser utilizado aceite mineral refinado que corresponda a las exigencias hechas en la norma DIN 51515 y que deberá poseer las siguientes características:

Cuadro 7 .Características de aceite de la turbina

DENOMINACION	EXIGENCIAS	
Tipo de aceite lubricante	TD 68	
Clase de viscosidad ISO	ISO VG 68	DIN 51519
N° Característico (cordenacion)	25	
Viscosidad cinematica a 40 °C	65.5 mm ² /s (cSt)	DIN 51550 en conjunto con DIN 51561 o DIN51562
Viscosidad cinematica a 100 °C	8.7 mm ² /s (cSt)	
Viscosidad dinamica media a 40 °C	65x10 ³ Pas	
Indice inferior no menor a	103	
Densidad a 15 °C no superior a	0.9 Kg/ l	DIN 51757

En la actualidad casi todas las compañías producen un aceite aceptable para turbina, sin embargo para realizar la correcta elección del lubricante se deben consultar con el proveedor; el lubricante indicado debe cumplir los siguientes requisitos:

- Debe ser un aceite mineral correctamente refinado y altamente filtrado.
- Gran capacidad de protección y prevención de residuos de metal en partes bañadas con aceite.
- Libre de ácidos alcalinos.

- Capacidad de separarse rápidamente del agua.
- Tendencia mínima de oxidación y formación de lodos por mezcla de aire y agua.
- Tendencia mínima la formación de espumas cuando es agitada con agua.
- Alto índice de viscosidad

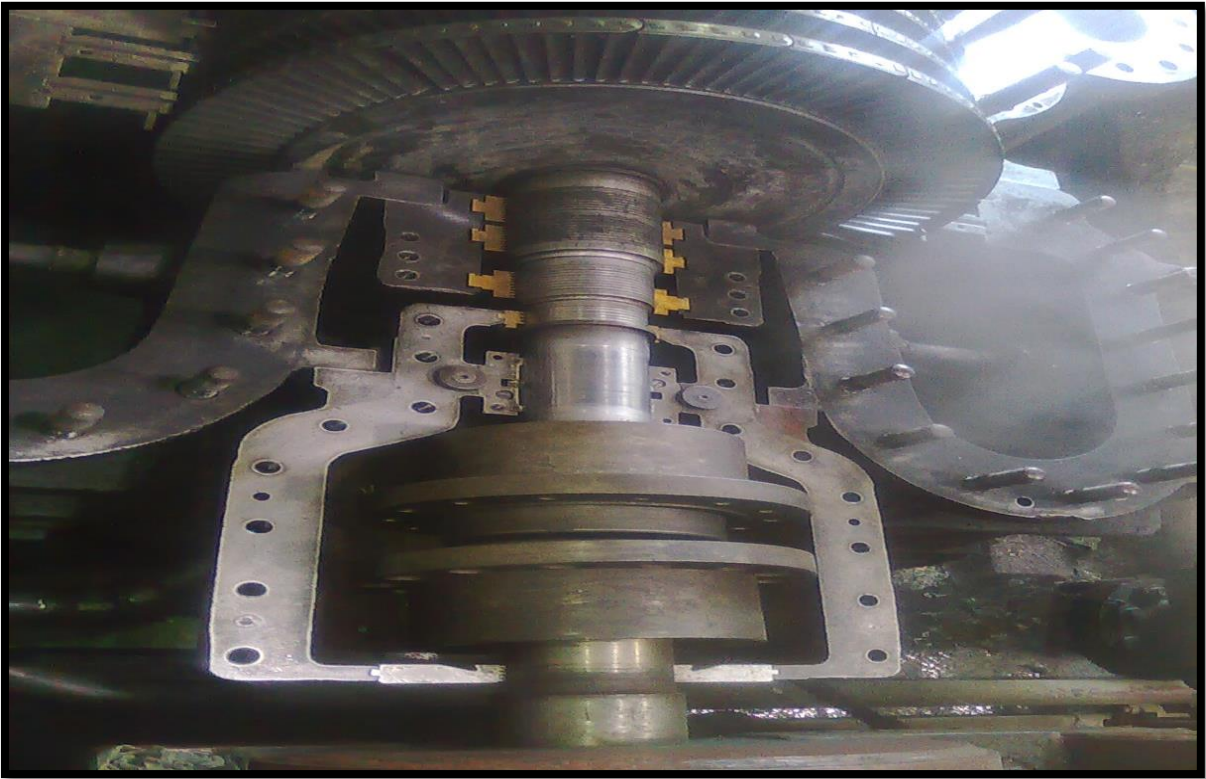


Figura 10. Cojinete lado reductor.

Causas principales de daños en cojinetes.

- Presencia de agua en el sistema de lubricación de la turbina.
- Desbalance del rotor de la turbina.
- Eje con presencia de golpes o ralladuras en zona de contacto con los cojinetes.
- Demasiado juego axial entre eje y cojinete.
- Lubricación deficiente en el sistema.
- Mala elección del recubrimiento del cojinete (babbitt).
- Aplicación ineficiente del recubrimiento (aplicación manual).

Presencia de agua en el sistema de lubricación de la turbina.

La presencia de agua dentro del sistema de lubricación suele darse por efecto del condensado o ruptura de los tubos que pertenecen al sistema de enfriamiento, al producirse estos incidentes el sistema es contaminado con agua teniendo como resultado que el aceite pierda sus propiedades, debido a esta contaminación se produce un aumento de temperatura el mismo que puede ocasionar la fundición del cojinete parando la turbina. El lavado con aceite tiene por finalidad remover los residuos y las contaminaciones introducidas, a continuación se muestra el proceso que se sigue para realizar limpieza del sistema de lubricación del equipo.

- **Tipo de aceite para lavado de sistema de lubricación.**

Para el lavado deberá ser usado el mismo tipo de aceite que para el funcionamiento de la turbina.

- **Volumen de aceite.**

Se debe utilizar cerca de 35 a 40% del volumen normal en servicio.

La bomba de aceite auxiliar deberá ser puesta en operación y los tamices del estanque de aceite deben permanecer montados.

- **Temperatura.**

La temperatura del aceite de lavado debe estar entre (60 – 70) °C (140 - 158) °F. Esta temperatura favorece la disolución de las contaminaciones.

Calentar el aceite por medio de serpentina o del propio intercambiador de calor de la instalación. Para calentamiento se utiliza agua caliente o vapor de baja presión.

- **Desmontaje de componentes importantes antes del lavado.**

Las partes superiores de los cojinetes radiales y axiales deben ser desmontados para que el aceite fluya libremente. Después del lavado retirar las partes inferiores y limpiarlas.

Remover el rotor del regulador de velocidad, el émbolo piloto del servomotor y el émbolo del interruptor hidráulico.

Los elementos filtrantes del aceite lubricante y de regulación son retirados temporalmente.

Cuando la contaminación disminuya durante el lavado, estos serán reinstalados.

En la entrada de los cojinetes de la turbina deberán ser montadas telas cuya malla sea de 25µm.

- **Proceso de lavado**

Durante el lavado de las tuberías de aceite (succión y salida) deberán golpearlas periódicamente (con martillo de madera).

En intervalos de una hora las telas de encaje deberán ser retiradas y limpias después de tres horas de lavado los tamices en el estanque de aceite deben ser limpios.

- **Finalización del lavado**

La tubería es considerada limpia durante 21 horas si la presión diferencial del filtro permanecer constante

- **Diligencias después del lavado con aceite**

El aceite de lavado deberá ser drenado completamente, principalmente la impureza depositada en el fondo del estanque de aceite. Drenar completamente el aceite depositado en las partes más bajas en el intercambiador de calor, filtros, etc. Las mallas deberán ser desmontadas, limpiadas (con paños que no suelten hilos) el estanque, tamices, carcasas de los filtros y elementos filtrantes. Los cuerpos de los cojinetes, canales de aceite y los casquillos de los cojinetes deberán ser lavados.

- **Diligencia en los Cojinetes.**

Verificar condiciones de la película de metal patente.

Verificar juego del cojinete axial: En caso de que las pastillas del cojinete axial se encuentren gastadas debe ser substituido el cojinete.

Desbalance del rotor de la turbina.

El desbalance del rotor se debe al choque de partículas de agua que van mezcladas con el flujo de vapor, estas golpean los alabes y provocan el desbalance prematuro del equipo.

Eje con presencia de golpes o ralladuras en zona de contacto con los cojinetes.

Por lo general al realizar el desmontaje de cojinetes, se golpea de manera involuntaria el eje creando una elevación en el mismo, la cual dependiendo de la severidad, podría dañar la superficie del cojinete, producto de esto se crea una lubricación deficiente lo que hace posible la destrucción del revestimiento del cojinete.

Demasiado juego axial entre eje y cojinete.

Se debe tener cuidado de no salirse del rango de calibración en el claro eje-cojinete. Los claros de los cojinetes vienen especificados en los datos técnicos de la turbina, “cuando este claro es excesivo estos deben ser reemplazados, es decir 0,10mm (0.004”) sobre el claro máximo”¹, para esto el fabricante diseño los cojinetes de tal manera que no sea necesario mover el eje de su sitio de trabajo para lograr reemplazarlos.

¹Turbodyne: Manual Técnico de la turbina de vapor 281 WHB, p 11.

Lubricación deficiente en el sistema.

Se produce por posibles saturaciones en las cañerías de lubricación, a si como niveles bajos de aceite en el depósito, entre otros. Formándose una capa límite muy baja, este fenómeno produce un contacto directo entre la superficie metálica del eje y el cojinete.

Recubrimiento del cojinete.

Al realizar un recubrimiento manual del cojinete se producen variables que se tornan difíciles de controlar, las cuales dan origen a fallas por reconstrucción.

VARIABLES tales como temperatura de recargue, porcentaje de los elementos constitutivos, velocidad de desplazamiento del caudín, todos ellos influyen de forma directa en la calidad de la capa superficial.

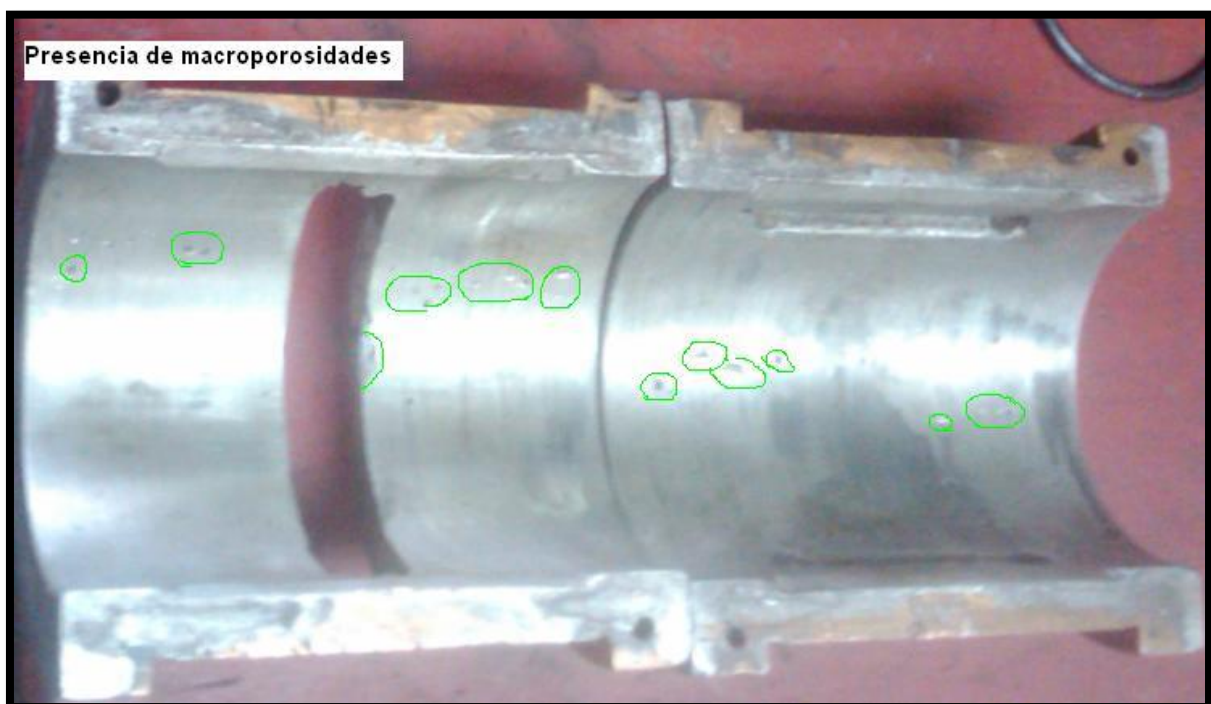


Figura 11, Cojinetes reconstruidos de manera artesanal con presencia de macro porosidades en su superficie.

2.2. MARCO CONCEPTUAL.

Babbitt.- También llamado metal blanco, se lo utiliza en cojinetes donde la carga se transmite mediante partes no móviles, es decir por deslizamiento, actualmente existen cojinetes de distintos tipos de materiales, los cuales son recubiertos por un material anti fricción, el principio de funcionamiento de un cojinete recubierto con babbitt es mantener al eje sobre la película de lubricante que los separa, dando la impresión de que este flota sobre la capa, en las turbinas se trabaja con presión de aceite ya que el babbitt tiene una mayor resistencia a la fricción cuando actúa bajo estas condiciones de operación.

Porosidad.- La porosidad es un factor normal dentro de los métodos de reconstrucción, en algunos casos trae beneficios como en la lubricación debido a que el lubricante se deposita dentro de estas cavidades. El problema surge cuando estas sobrepasan niveles del 25 %, este porcentaje de porosidad nos dice que la superficie reconstruida no será uniforme, además el impacto visual no será satisfactorio y en cuanto a su micro estructura esta será favorable para el depósito de elementos corrosivos que afectan directamente al tiempo de explotación del cojinete reconstruido

Adhesión al substrato.- La adhesión ocurre cuando dos cuerpos se unen por un contacto inter molecular, con el fin de formar una unidad. La adhesión es un fenómeno complejo relacionado a los efectos físicos y a las reacciones químicas en la interface.

Definición de Desgaste.- El desgaste es un desprendimiento gradual de partículas de la superficie de un material sólido, por fricción con otro sólido, o por contacto con un líquido o gas en movimiento.

Viscosidad.- Es la propiedad de un fluido que tiende a oponerse a su flujo cuando se le aplica una fuerza.

Claros radiales.- Holgura existente entre el eje de turbina y el cojinete 0,15mm.

Disparo.- Se denomina a la parada de la turbina por exceso de velocidad, generalmente se lo calibra a 4200rpm.

Dureza.- Es la oposición que ofrecen los materiales a la penetración, la abrasión, el rallado, la cortadura, las deformaciones permanentes, etc.

Claros axiales.- Holgura o libertad de desplazamiento que posee el eje sobre su área de desplazamiento 0,38mm.

Descripción general de la turbina.- La turbina de acción y contrapresión modelo TURBODYNE 281 WHB “es una turbina compacta, de múltiples etapas, proyectada para atender accionamientos que exigen alto rendimiento, bajo consumo, bajo condiciones de vapor con valores medios de presión y temperatura”².

Funcionamiento.- Este equipo comienza su trabajo con la introducción de vapor a una presión y temperatura determinadas de 220 psi y 260 °C respectivamente, el flujo de vapor que ingresa pasa por unos alabes generando el movimiento de los mismos, los cuales van acoplados a un eje rotor, al momento de la salida del vapor este habrá perdido cierta cantidad de temperatura y presión, la misma que habrá sido aprovechada por la turbina para generar energía, utilizada para mover el rotor.

Estructura.- Su carcasa bipartida horizontalmente es construida en acero especial fundido, capaz de resistir altas exigencias durante la operación, obedeciendo las normas que regulan la construcción de este tipo de máquinas.

En la parte superior se encuentra el bloque superior de válvulas, también construido en acero, dónde de un lado es acoplada a la válvula de cierre rápido, responsable por el bloqueo de vapor, accionada por un sistema hidráulico manual, del otro lado es acoplado el servo-motor, que es comandado por el Regulador de velocidad que es responsable por la actuación de la válvula de regulación la cual controla el flujo de vapor de acuerdo con las necesidades de carga.

²Turbodyne: Manual Técnico de la turbina de vapor 281 WHB, p 7.

El rotor compuesto de varias etapas, con laberintos de salida entre las etapas, el pistón de equilibrio, el gatillo disparador cierre rápido, los deflectores de aceite y acoplamiento. “Todo el conjunto es construido en acero forjado especial que después de rigurosas pruebas de resistencia mecánica y ensayos no destructibles, recibe el tratamiento térmico controlado, alivio de tensiones y balance dinámico, después viene su montaje final.”³

Fijados en la carcasa se encuentran los grupos expansores constituidos de inyectores y diafragmas dispuestos de modo que permiten el máximo aprovechamiento de vapor por parte del conjunto de álabes. En los diafragmas entre las etapas son montados anillos de separación o laberintos construidos en bronce especial.

La turbina es aislada con mantas de fibra de vidrio rellenas con lana mineral y sujeta en la carcasa de manera que puedan ser desmontadas y reutilizadas nuevamente.

Como recubrimiento final recibe un armazón de planchas de espesura fina con aperturas y recortes que facilitan la verificación de los instrumentos de control y manoseo de componentes en la mantención.

A continuación adjuntamos los datos técnicos de la turbina en estudio.

Turbina de vapor TURBODYNE

- ▲ Serie: 32871
- ▲ Modelo: 281 WHB
- ▲ HP Rating: 900
- ▲ Sentido de giro (observando al gobernador al final de la turbina):
Contra las manecillas del reloj
- ▲ Condición de vapor de entrada: 180 psi ; 500°F
- ▲ Condición de vapor de salida: 20 psi
- ▲ Material: cuerpo de acero
- ▲ Bomba auxiliar de aceite: 4.5 gpm ; 28psi
- ▲ Cantidad de agua requerida para el intercambiador: 10 gpm ; 90 °F

³Turbodyne: *Manual Técnico de la turbina de vapor 281 WHB*, p 8.



Figura 12. Representación grafica de la turbina de vapor Turbodyne 281 WHB.

Dispositivos de protección y seguridad.- La turbina TURBODYNE 281 WHB posee varios tipos de dispositivos de seguridad, protección y advertencia instalados en puntos estratégicos, que garantizan la total protección a la turbina. Son responsables por la monitorización constante de los equipamientos, programados para actuar instantáneamente a cualquier señal de anomalía durante la operación. Cada uno con sus particularidades, en funciones y locales diferentes, tienen como objetivo común evitar daños de cualquier naturaleza.

Conforme la importancia de estos dispositivos, se recomienda que los mismos se conserven en buenas condiciones de funcionamiento y la mantención sea realizada periódicamente por personal especializado.

Otro punto común entre los dispositivos de seguridad es que la mayoría de ellos actúan sobre la válvula de cierre rápido de la turbina. Esta válvula es responsable por el bloqueo de entrada de vapor antes de la válvula de regulación haciendo que la turbina pare de funcionar inmediatamente.

Sistema de regulación.- El sistema de regulación está ubicado en la parte superior de la turbina y como el sistema de cierre rápido, también se acopla al bloque de válvulas.

El conjunto al cual también llamamos de válvulas de regulación tiene por objetivo controlar des acuerdo con la necesidad de carga, el flujo de vapor a ser enviado al interior de la turbina.

La válvula de regulación es compuesta de servos motores hidráulicos que actúa bajo impulso del aceite regulado, librando el flujo de vapor en cantidad calculada y distribuida, conforme sus respectivos grupos.

Válvulas de regulación.- La carcasa del bloque de válvulas posee en su interior divisiones de cámaras capaces de individualizar el flujo de vapor por grupos, de acuerdo con el caudal requerido por el grupo inyector respectivo. Son fijados a las paredes de estas cámaras, los cestos de las válvulas que sirven como guía del vástago del asiento para vedar el vapor.

El vástago también es guiado por un buje especial montado en el planche de guía interconectada través de orificios con la cámara de drenaje

El cesto, el vástago y el buje son fabricados en acero inoxidable de alta resistencia y alta temperatura, además de recibir tratamiento térmico y superficial, aumentando su resistencia a la corrosión y al desgaste por fricción.

Servo Motor.- El servo motor es un eslabón de unión entre el regulador de velocidad y las válvulas reguladoras de vapor. El es responsable por el correcto posicionamiento de las válvulas, debiendo su actuación ser precisa y libre de oscilaciones.

El servo motor opera según el principio de la retroalimentación, o sea, a cada posición del émbolo piloto corresponde apenas una posición del pistón. Cualquier eventual desvió es auto compensado.

Datos del sistema hidráulico.

Instalación hidráulica - Datos generales

- Calidad del aceite ISO VG 68
- Presión del aceite de lubricación. 57 Psig
- Presión del aceite en los cojinetes Turbina. 17 – 27 Psig
- Reductor Renk Zanini TA 53n 17 – 27 Psig
- Temperatura del aceite. 113°F
- Temperatura del aceite en los cojinetes. 131 – 158°F
- Temperatura del metal patente. 158 – 203°F

Tanque de aceite

- Capacidad. 4000 litros
- Circulación de aceite. 12 L / h

Bomba principal de aceite

- Tipo. W - 8317
- Rotación de operación. 2800 rpm
- Presión de operación. 142 Psig
- Caudal. 46,80 m³ / h
- Accionamiento. Motor Eléctrico
- Potencia. 30 CV
- Sentido de rotación (mirando para el eje de la bomba)
- Anti horario

Moto bomba auxiliar

• Tipo.	Worthington #1 GAFTM
• Rotación de operación.	1750 rpm
• Presión de operación.	142 Psig
• Caudal.	45,6 m ³ / h
• Accionamiento.	Motor eléctrico
• Potencia del motor.	30 CV
• Tensión / Frecuencia.	460 V / 60 Hz
• Clase de protección.	IP 54
• Swich de arranque.	Allen Bradly 836C3A

Sistema hidráulico.- El sistema de aceite consiste básicamente de: depósito de aceite, bomba principal de aceite, bomba auxiliar de aceite, enfriador doble de aceite; filtro doble de aceite 25µm y válvula reductora de presión.

Después de la salida de las bombas, el aceite pasa por el enfriador y filtro se derivando para las líneas de regulación y seguridad a una presión de 113 Psig y para el sistema de lubricación a una presión de 57 Psig, después de pasar por una válvula reductora de presión.

Los cojinetes de la turbina son alimentados a través de placas de orificio en líneas individuales de alimentación.

Enfriador de aceite.- Está previsto en la instalación hidráulica un enfriador doble de aceite instalado después de la salida de las bombas con el objeto de transferir el calentamiento del aceite generado por los cojinetes para el agua de refrigeración.

Calidad del agua de enfriamiento.- En condensadores y cambiadores de calor, la selección de sus materiales es función directa del tipo (agresividad) del agua de enfriamiento. Se hace entonces evidente que la agresividad del agua en operación continua no debe aumentar en relación al valor originalmente especificado, pues se puede reducir significativamente la vida media de los equipos.

Preparación de la tubería de vapor.- Para garantizar un buen funcionamiento de la turbina y evitar daños a los álabes es necesario retirar los cuerpos extraños (partículas de soldadura principalmente) retenidos en las tuberías de vapor en la caldera antes de la primera partida.

La limpieza es hecha por soplo del vapor, en ambiente abierto.

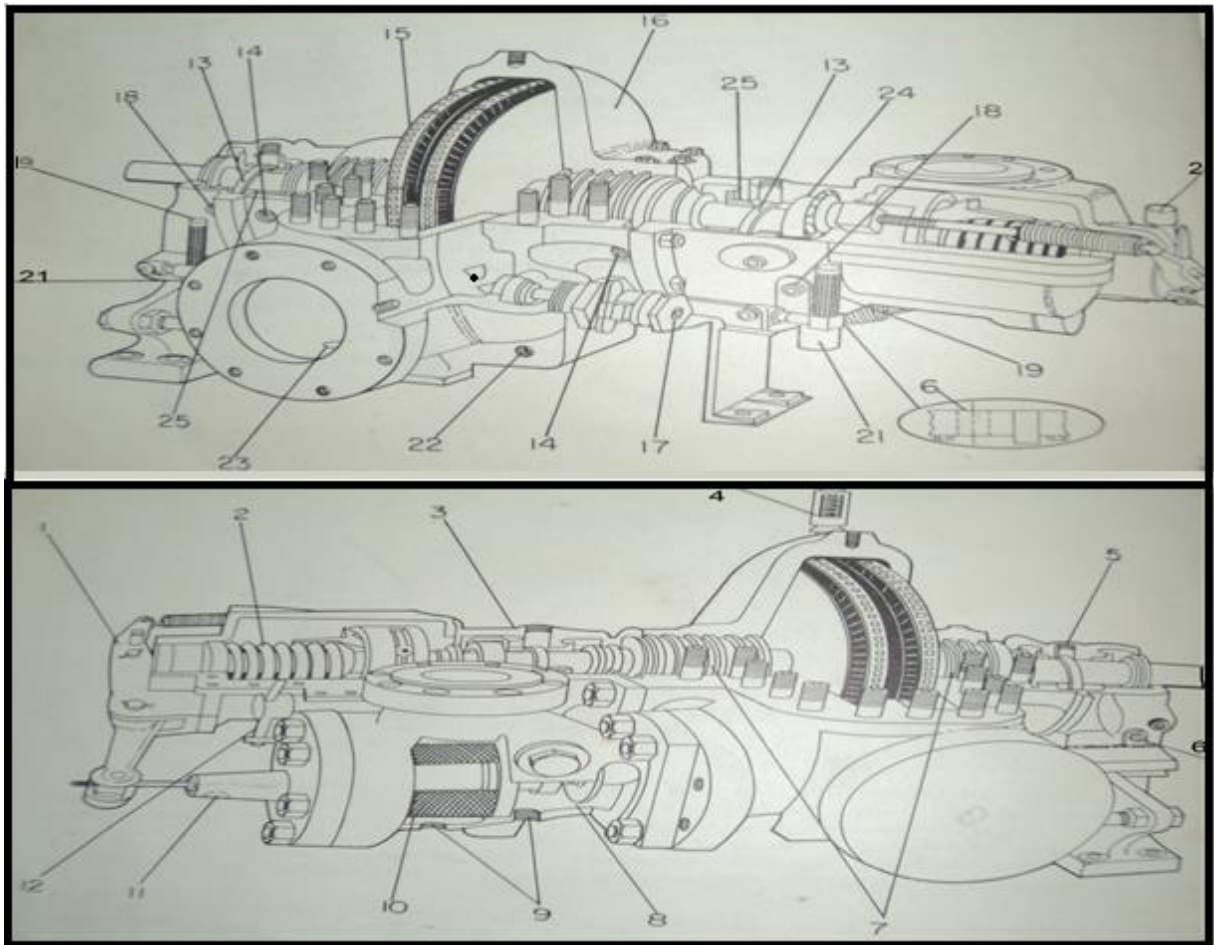


Figura 13. Imagen de partes de turbina.

- 1-Palanca de regulación de gobernador
- 2-Eje mecánico del gobernador
- 3-Sello de final de vapor
- 4- Válvula de escape
- 5- Sello de vapor de escape
- 6- Conectores de entrada de agua de enfriamiento

- 7- Anillos de carbón
- 8-Caja de vapor
- 9- Drenaje de caja de escape
- 10- Filtro de vapor
- 11- Cubierta de drenaje de caja de vapor
- 12- Palanca de disparo
- 13- Sellos de aceite
- 14- Salida de aceite de retorno
- 15- Disco de turbina
- 16- Tapa de turbina
- 17- Válvula manual
- 18- Conector de salida de agua de enfriamiento
- 19- Indicadores de nivel de aceite
- 20- Gobernador hidráulico
- 21- Drenaje de aceite
- 22- Anillo de drenaje de vapor
- 23- Deposito para drenaje
- 24- Cojinete de empuje
- 25- Cojinetes principales

2.3. HIPOTESIS Y VARIABLES

2.3.1. Hipótesis General

La hipótesis general planteada que origino el trabajo de la investigación es:

- ✦ La cantidad relativa de la aleación del babbitt y el método utilizado para la reconstrucción de los cojinetes de la turbina de vapor Turbodyne 281 WHB influye significativamente en la velocidad de desgaste de la capa reconstruida.

Hipótesis planteada en razón de que esta restauración en el Ingenio San Carlos se realiza de manera manual y no se ha determinado cual es el porcentaje óptimo de los elementos que constituyen la aleación bimetálica que favorezca su deslizamiento

sin afectar su micro estructura, en tal virtud planteamos las siguientes hipótesis particulares.

2.3.2. Hipótesis Particulares

- ⤴ Una reconstrucción a partir de una fundición centrífuga sobre la superficie de fricción del cojinete mejorara la resistencia al desgaste.
- ⤴ La automatización del método mejorara el proceso y eliminar porosidades internas en la capa reconstruida.
- ⤴ La relación adecuada de los componentes del babbitt mejorara las propiedades de fricción y desgaste.

2.3.3. Declaración de las Variables

- ⤴ El método utilizado para la reconstrucción de los cojinetes de la turbina Turbodyne 281 WHB influyen significativamente en la velocidad de desgaste del cojinete.
- ⤴ La cantidad relativa de la aleación del babbitt utilizada en la reconstrucción de los cojinetes de la turbina Turbodyne 281 WHB influye significativamente en la velocidad de desgaste de sus componentes.

2.3.4. Operacionalización de las Variables

Para la realización de la presente investigación se utilizara herramientas estadísticas y diseños de argumentos para la determinación de las característica tribológicas del recubrimiento motivo de análisis se plantea un diseño experimental factorial 2^k el mismo que permite estudiar el efecto de varios factores o variables sobre una respuesta.

Este diseño debido a que solo tiene dos niveles para cada factor o variable nos dice que la respuesta de salida será lineal en el intervalo de los niveles relacionados, así tenemos:

Variables independientes.

Carga y velocidad, cada una estudiada a dos niveles estableciéndose el modelo de diseño factorial 2^2 con tres repeticiones por ensayo declaramos un total de doce unidades experimentales.

Velocidad de deslizamiento Vd.

- Velocidad máxima 16 m/s

Variables fijas.

Dureza y rugosidad del recubrimiento que se mantienen fijas durante la experimentación.

- Dureza 30 HB
- Rugosidad 0.4 μm

Variables independientes no establecidas.

Temperatura y viscosidad del lubricante los mismos que no se pueden fijar y son producto de la experimentación.

Variables dependientes.

Coeficiente de fricción y razón de desgaste.

Establecidas las variables que intervienen durante la experimentación en condiciones de explotación se fijan los valores y se procede a hacer la matriz de experimentación

Cuadro 8. Matriz de diseño experimental 2², cojinetes recubiertos magnolia INFRANGA.

MATRIZ DE DISEÑO EXPERIMENTAL 22, COJINETES RECUBIERTOS CON MAGNOLIA INFRANGA				
ENSAYO	PRESION P(Mpa)	VELOCIDAD Vd (m/seg)	COEF. FRICCION	RAZON DE DESGASTE mm/H
1	+	+		
2	-	+		
3	+	-		
4	-	-		
5	+	+		
6	-	+		
7	+	-		
8	-	-		
9	+	+		
10	-	+		
11	+	-		
12	-	-		

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN Y SU PERSPECTIVA GENERAL

En la presente tesis a mas de realizar una investigación previa de los componentes que interviene en el desgaste de los cojinetes de deslizamiento de la turbina de vapor Turbodyne, se diseño una instalación de fundición centrífuga.

Tipos de investigación

Según su finalidad.- Esta tesis teórica practica tiene como finalidad la reconstrucción de los cojinetes de deslizamiento de la turbina de vapor Turbodyne 281 WHB, de tal forma que logre incrementar al menos dos veces en relación al método anterior la vida útil del cojinete, es decir elevar su periodo de vida útil que en la actualidad es semestral hasta llegar a un periodo anual.

Según su objetivo.- Tenemos como objetivo construir una maquina de fundición centrífuga la cual será capaz de reconstruir el cojinete de una forma automática, segura y con la garantía de no presentar porosidades.

Según su contexto.- Nuestro proyecto de tesis se caracteriza por ser teórico práctico ya que además de haber hecho el estudio técnico del proyecto hemos decidido darle solución mediante la implementación de un prototipo que reconstruirá la superficie de los cojinetes aplicando el método de la fundición centrífuga

Según el control de las variables.- Consideramos a nuestro proyecto de tesis experimental debido a que se ha creado un modelo de equipo no existente en el mercado para de esta forma lograr el fin propuesto.

Según la orientación temporal.- Nuestro enfoque temporal está centrado en el análisis de datos históricos de reconstrucción, es así que se quiere lograr con nuestra investigación cambiar un método que hoy no brinda las garantías necesarias de operación.

3.2. LA POBLACIÓN Y LA MUESTRA

3.2.1. Características de la población

Dentro del departamento de Fabrica del Ingenio San Carlos existen 6 turbinas de la marca Turbodyne, cada una de ellas poseen dos cojinetes de deslizamiento estos tienen las mismas características geométricas y de construcción que nuestra turbina de estudio Turbodyne WHB 281.

3.2.2. Delimitación de la población

Entonces en nuestro caso tenemos que nuestra población es finita en tal razón n (tamaño de la muestra) se consideraría igual a doce unidades, otro punto que se considera es que de todas las marcas de turbina que posee la empresa dentro del departamento de Fabrica solo se trabajara con la marca Turbodyne.

3.2.3. Tipo de muestra

La investigación se va a realizar en las doce unidades debido a que cada uno de los cojinetes trabaja bajo condiciones que difieren en sus parámetros de explotación.

3.2.4. Tamaño de la muestra

De acuerdo a la formula que se ha aplicado para la presente investigación se ha obtenido que el tamaño de la muestra es doce unidades, lo que coincide con el numero de cojinetes que se tienen en las seis turbinas.

Debido a que la población es finita, utilizamos la siguiente fórmula:

$$n = \frac{N p q}{\frac{(N - 1) E^2}{Z^2} + p q}$$

Fórmula 1. Ecuación para determinar el tamaño de muestra.

Donde:

n: tamaño de la muestra.

N: tamaño de la población

p: posibilidad de que ocurra un evento, $p = 0,5$

q: posibilidad de no ocurrencia de un evento, $q = 0,5$

E: error, se considera el 5%; $E = 0,05$

Z: nivel de confianza, que para el 95%, $Z = 1,96$

Luego al reemplazar valores tendremos:

$$n = \frac{(12) \cdot (0,5) \cdot (0,5)}{\frac{(12-1) \cdot (0,5)^2}{(1,96)^2} + (0,5) \cdot (0,5)}$$

$$n = 11,67$$

3.2.5. Proceso de selección

El proceso de selección de las superficies base para el vertido centrifugado, se ha realizado al azar, logrando reconstruir satisfactoriamente la superficie de cada uno de ellos, este procedimiento se realizó sin cambiar las parejas de cojinetes de cada turbina.

3.3. LOS MÉTODOS Y LAS TÉCNICAS

3.3.1. Métodos teóricos.

Para la recopilación de datos teóricos que logren enriquecer el contenido de la tesis se contó con el apoyo total del equipo de mantenimiento, los cuales nos dieron el material necesario sobre causas generales de daños en cojinetes así como el acceso a catálogos y relatoríos técnicos de los equipos, gracias a esta información se logró determinar de forma exacta donde se originó el problema y se hizo el estudio para poderlo solucionar.

3.3.2. Métodos empíricos.

El método que se utilizó para tratar la información es el hipotético deductivo, debido a que durante la realización del mismo se fueron generando hipótesis las cuales serían aceptadas o rechazadas de acuerdo a la investigación otorgada a cada una de ellas, el personal de mantenimiento del departamento de Fabrica del Ingenio San Carlos colaboró en nuestro trabajo ofreciéndonos ideas relacionadas a la facilidad de operación con la cual debería contar el equipo así como relatos de experiencias vividas en años anteriores.

3.4. EL TRATAMIENTO ESTADISTICO DE LA INFORMACION

Para el tratamiento estadístico de la información obtenida se utiliza el diseño experimental y la distribución de probabilidades sobre la curva normal o gauss, dentro de un límite de confianza de un 95 %.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

Se conoce que el tiempo estimado de uso de los cojinetes reconstruidos del historial de fallas que se tiene en la empresa está entre los seis meses que dura el periodo de zafra, al llegar el periodo de reparación se los inspecciona y dependiendo la situación de los mismos se procede a su reconstrucción, el límite máximo de desgaste que se permite en los cojinetes para su explotación no debe sobrepasar los 0.20mm (0.008”). Se procede a la reconstrucción por el método anterior utilizado, el material de aporte es el metal antifricción conocido como magnolia INFRANGA el cual se adquiere en lingotes de 2.6 Kg de peso y cuya composición química es:

CUADRO 9. Composición química de la magnolia INFRANGA.

COMPOSICION QUIMICA	
ESTAÑO	84,4900%
COBRE	2,4000%
PLOMO	0,2400%
ZINC	0,0035%
ANTIMONIO	6,4300%
OTROS	6,4365%

Se muestra en el siguiente cuadro las características técnicas del material anti fricción INFRANGA.

CUADRO 10. Características técnicas de la magnolia INFRANGA.

CARACTERISTICAS TECNICAS	
DENSIDAD	7,35 gr/cm ²
RESISTENCIA A LA TRACCION	5,53 T/pul ²
ELONGACION (% EN 2")	10,30%
REDUCCION DE AREA	17,80%
DUREZA BRIELL (a 20 °C)	# 32
TEMPERATURA INICIO DERRETIMIENTO	237 °C
TEMPERATURA CULMINACION DERRETIMIENTO	380° C
RANGO RECOMENDADO DE COLADO	400 - 430°C

Está recomendada para los siguientes usos:

- Usada frecuentemente en cojinetes (chapas) turbinas de mediana capacidad; de motores diesel marinos y motores de combustión interna.
- Particularmente apropiada para cojinetes en los que el espesor del recubrimiento es menor a 2.5mm.

Esta composición coincide con el tipo de babbitt según ASTM B 23, conocido con su nombre industrial como babbitt para turbina.

Se adjunta cuadro con los datos técnicos del cojinete de bronce fosfórico, acerca de su estructura.

Cuadro 11. Datos técnicos de bronce fosfórico (Cu 94/Sn 6).

CARACTERISTICAS TECNICAS	
PUNTO DE FUSION	900 - 1050 °C
DUREZA BRINELL	80- 225
MODULO DE ELASTICIDAD	90 - 120 (Gpa)
RESISTENCIA A LA TRACCION	320 - 740 (Mpa)

4.2. ANÁLISIS COMPARATIVO, EVOLUCIÓN, TENDENCIA Y PERSPECTIVAS

Par realizar nuestro proyecto fue necesario hacer un análisis de la micro estructura de un cojinete de deslizamiento tomado al azar, el mismo que había sido reconstruido por el método de aporte fundida por caudín, con estos resultados se logro confirmar la necesidad de la implementación y construcción de la máquina de fundición centrífuga para mejorar el acabado superficial.



Figura 14. Método de aplicación manual de magnolia fundida por caudín.

Con este proceso de reconstrucción que se plantea esperamos elevar el tiempo de vida útil de los cojinetes al doble de lo que se consigue con el método de reconstrucción anterior, y de este modo lograr una mejor y más eficiente lubricación hidrodinámica.

El análisis de la micro estructura del cojinete fue realizado en la Escuela Superior Politécnica del Chimborazo.

4.3. RESULTADOS

Se ha realizado un análisis macro y microscópico, en el análisis macro se observan porosidades de diferentes medidas, como se puede visualizar en la siguiente figura.



Figura 15. Análisis macro de un cojinete reconstruido con caudín

Se puede visualizar muchas macro porosidades sobre la superficie del cojinete reconstruido mediante el proceso de aplicación de magnolia fundida por caudín, las discontinuidades y las impurezas que se presentaron durante el proceso de reconstrucción afectaron directamente a la calidad del acabado.

Mientras que en el análisis micro se observa que el porcentaje de estaño es mayor que el del plomo, esto comprueba que los valores proporcionados por Maquinarias Hernández acerca de la magnolia que nos proporciona para el proceso de reconstrucción están correctos, estos valores se pueden apreciar en la página del anexo numero tres.

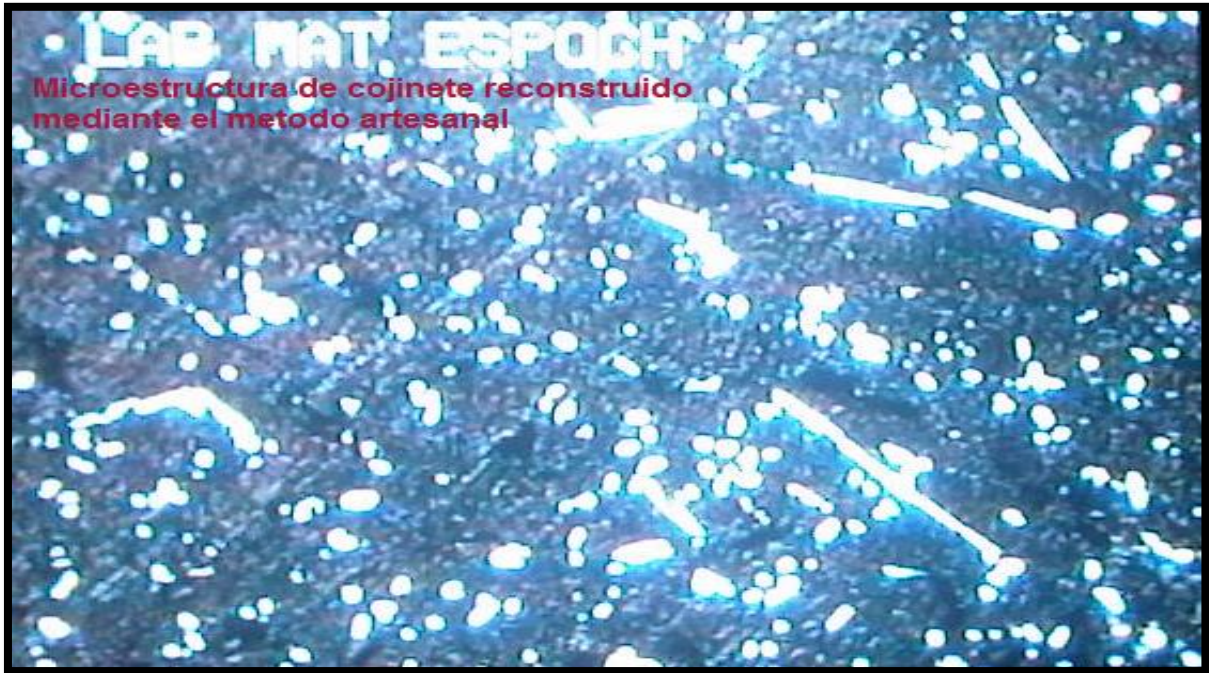


Figura 16: Cojinete de fricción recubierto con Babbitt y rectificada expuesta 10 segundos al ataque químico, con $10\times=375\mu\text{m}$ de aumento.



Figura 17: Cojinete de fricción cubierto con Babbitt y sin rectificar expuesta 10 segundos al ataque químico, con $10\times=375\mu\text{m}$ de aumento. Lado. Der. Interface entre el recubrimiento y el metal base.

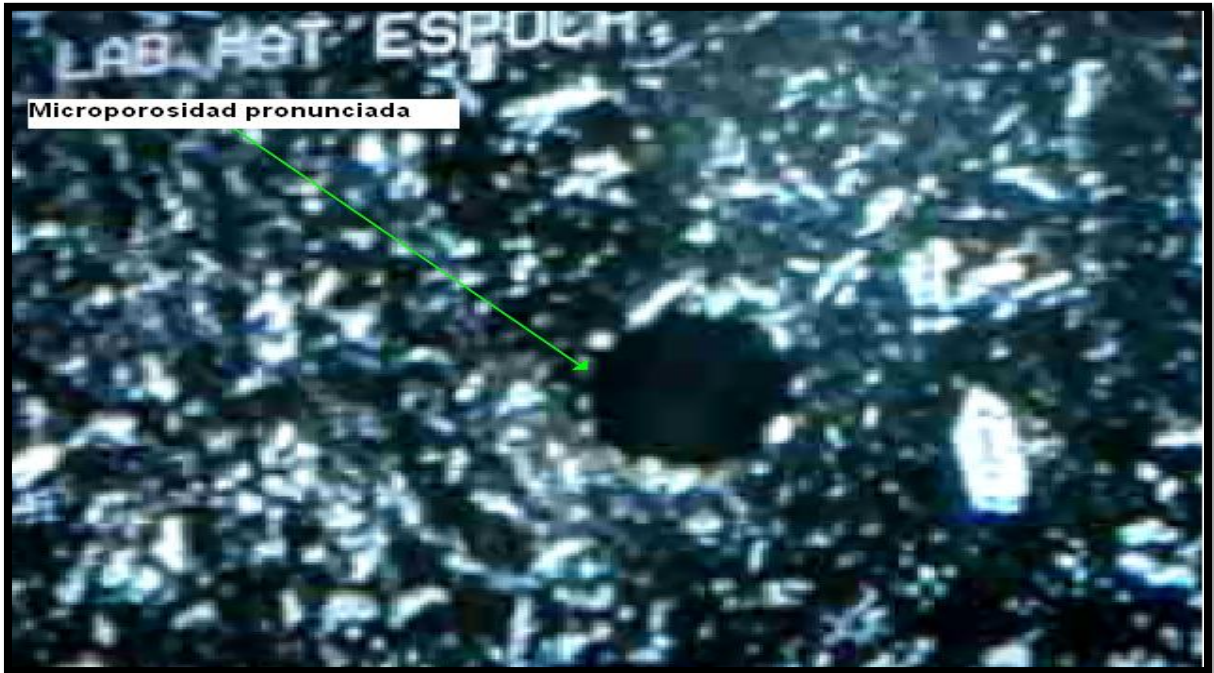


Figura 18. Micro estructura del recubrimiento babbitt base Sn atacado con nital 5 (110^x) expuesto a 15 segundos al ataque químico



Figura 19.: Bronce fosfórico expuesto a tres minutos de ataque con nital 2

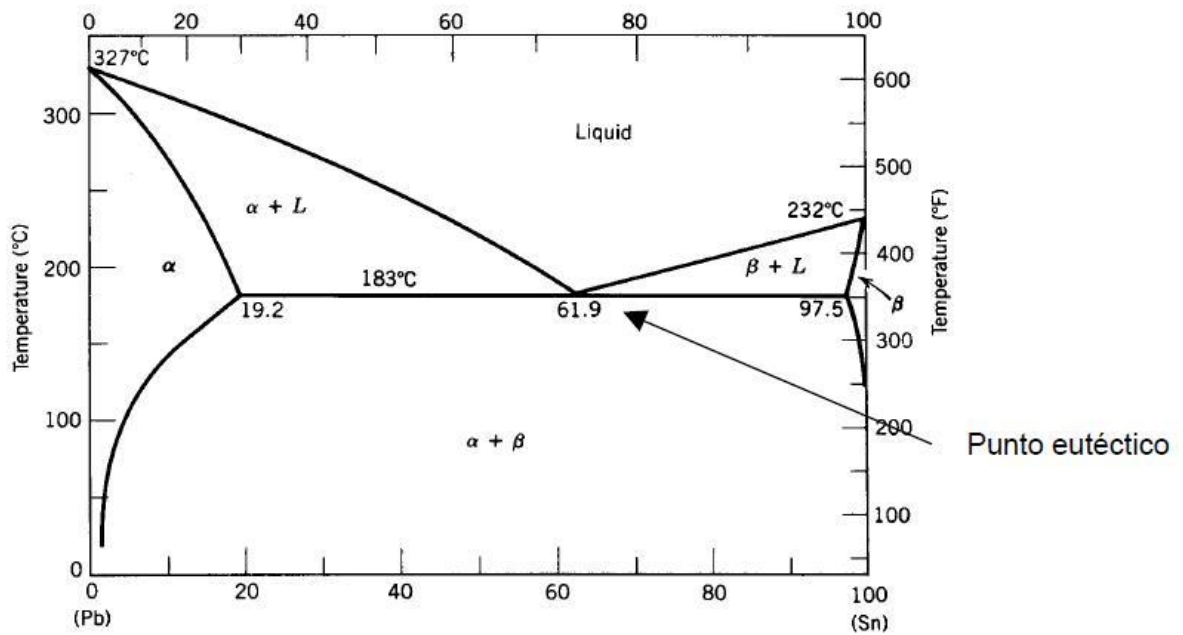


Figura 20. Diagrama de fases plomo – estaño.

4.4. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

En razón de que nuestra tesis es de índole Hipotético-deductivo, Para rechazar o aceptar la hipótesis se diseñó la siguiente regla de decisión con el nivel significativo 0,05

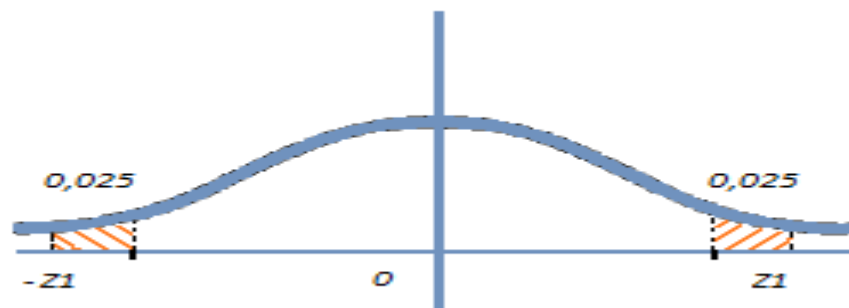


Figura 21. Diagrama estadístico, aplicado según regla de decisión.

Se adapta una regla de decisión que consiste en acoplar la hipótesis si Z se encuentra entre -1,96 y 1,96 caso contrario se rechaza la hipótesis.

La regla de decisión de acuerdo al número de cojinetes que fallen de los doce ensayados sobre la intensidad de desgaste, se expreso a través del cálculo desde la media; entonces tendremos que

$$\mu = N.P \rightarrow \mu = (12).(0,5) \rightarrow \mu = 6$$

$$y \quad \sigma = \sqrt{N.P.Q} \rightarrow \sigma = \sqrt{(12).(0,5).(0,5)} \rightarrow \sigma = 1.73$$

FORMULA 2. Regla de decisión.

Para $Z = \pm 1,96$ entonces;

$$\text{➤ } -1,96 = \frac{X-6}{1.73} \rightarrow X = 2,60$$

$$\text{➤ } 1,96 = \frac{X-6}{1.73} \rightarrow X = 9,39$$

Aceptamos la hipótesis si el numero de cojinetes buenos luego del ensayo se encuentra en el rango de 3 y 9 unidades caso contrario rechazamos la hipótesis.

CAPÍTULO V PROPUESTA

5.1. TEMA

Una vez realizado el análisis del problema que encontramos dentro del departamento de Fábrica del Ingenio San Carlos, en la turbina de vapor Turbodyne 281 WHB la misma que presenta problemas de reconstrucción en sus cojinetes de deslizamiento por lo cual se planteo lo siguiente:

RECONSTRUCCIÓN DE COJINETES DE DESLIZAMIENTO DE LA TURBINA TURBODYNE DEL TERCER MOLINO DEL TRAPICHE “B” EN EL INGENIO SAN CARLOS MEDIANTE EL PROCESO DE FUNDICIÓN CENTRIFUGA.

5.2. FUNDAMENTACIÓN

Turbina.- La turbina de acción y contrapresión modelo TURBODYNE 281 WHB es una turbina compacta, de múltiples etapas, proyectada para atender accionamientos que exigen alto rendimiento, bajo consumo, bajo condiciones de vapor con valores medios de presión y temperatura.

Calibración.- Los claros de los cojinetes vienen especificados en los datos técnicos de la turbina, cuando este claro es excesivo se procede a realizar el cambio del juego de chapas, este rango de medidas está entre 0,10mm (0.004”) sobre el claro máximo, y no debe sobrepasar los 0,018 mm (0.007”) entre eje y cojinete.

Lubricación deficiente en el sistema.- Se produce por posibles saturaciones en las cañerías de lubricación, a si como niveles bajos de aceite en el depósito entre otros, todo esto puede ocasionar daños graves en el equipo, producto de la deficiente capa de lubricante alojada entre estas superficies de contacto.

Babbitt.- También llamado metal blanco, se lo utiliza en cojinetes donde la carga se transmite mediante partes no móviles, es decir por deslizamiento, el principio de

funcionamiento de un cojinete recubierto con babbitt es mantener al eje sobre la película de lubricante que los separa, dando la impresión de que este flota sobre la capa de lubricante, en las turbinas se trabaja con presión de aceite ya que el babbitt tiene una mayor resistencia a la fricción cuando actúa bajo presión de aceite.

Rugosidad.- es el conjunto de irregularidades que posee una superficie, este factor es importante para lograr un nivel de adherencia óptimo.

Nital.- Solución de alcohol y ácido nítrico, utilizado para realizar ataque químico a la superficie de metales.

Bronce.- Aleación cobre estaño

Acero inoxidable.- Metal compuesto de 10% de cromo, 0.08% carbono, 2% de manganeso, 8% Nítricos. 11% de níquel y otros.

Crisol.- Se denomina así al vaso fabricado con material refractario que se emplea para fundir material.

Selección inadecuada del porcentaje de los elementos para el recubrimiento.-
Al no seleccionar de forma óptima el porcentaje de los componentes se corre el riesgo de que la capa obtenida sea demasiado suave o por el contrario demasiado dura por ello se trabaja con la magnolia comercial INFRANGA, esta es resistente a la fatiga, resistente a la tensión y a altas temperaturas.

5.3. JUSTIFICACIÓN

La correcta reconstrucción de los cojinetes de deslizamiento de la turbina de vapor Turbodyne 281 WHB garantiza una operación más confiable durante el periodo productivo del Ingenio San Carlos, esto se puede lograr teniendo un método de reconstrucción rápido y eficiente, al implementar este procedimiento de fundición con carácter centrífugo se lograra reducir las porosidades y la mala adherencia, por ello

nos hemos propuesto la construcción e implementación de este novedoso sistema de reconstrucción.

Nuestro prototipo se ha creado para corregir los factores externos que se presentan durante la recuperación de los cojinetes por el método tradicional de aplicación de magnolia fundida por caudín. Cabe mencionar que se reduce la exposición de la persona que opera este equipo a gases tóxicos.

5.4. OBJETIVOS

Objetivo General de la propuesta

Implementar una máquina de fundición con criterio centrífugo para reconstruir los cojinetes de deslizamiento de la turbina Turbodyne 281 WHB del tercer molino del trapiche B del Ingenio San Carlos.

Objetivos Específicos de la propuesta

- Lograr una cohesión más firme entre la base del cojinete y el babbitt.
- Optimizar el tiempo empleado para la reconstrucción de los cojinetes de deslizamiento.
- Desaparecer el riesgo de deformación de los cojinetes por cambios drásticos de temperatura.
- Aumentar el tiempo de vida útil del cojinete en relación al método de reconstrucción anterior.
- Eliminar macro porosidades de la superficie de los cojinetes reconstruidos.
- Reducir los niveles de contaminación por gases de soldadura.

5.5. UBICACIÓN

Es una agroindustria azucarera propietaria del Ingenio San Carlos, cuyo domicilio principal está ubicado en la ciudad de Guayaquil. Ingenio San Carlos, sus instalaciones industriales y administrativas se encuentran asentadas en el cantón

Coronel Marcelino Maridueña en la provincia del Guayas, su superficie se extiende entre los cantones Marcelino Maridueña, Naranjito y El Triunfo y abarca 22.047 hectáreas.



Figura 22. Vista satelital del sector administrativo e industrial del Ingenio San Carlos.

5.6. FACTIBILIDAD

Con la implementación de nuestro prototipo de reconstrucción se consiguieron valores satisfactorios, los mismos que demuestran la viabilidad económica para la implementación de nuestra tesis.

De acuerdo al estudio económico realizado para nuestro proyecto se elaboraron los siguientes cuadros de factibilidad, los mismos que son favorables y se detallan a continuación:

Cuadro 12. Descripción del proyecto.

REQUERIMIENTOS DE INVERSIÓN			
CAPITAL DE TRABAJO	US \$ 4.000	ACTIVOS FIJOS	US \$
CARTERA	4.000	MATERIALES	1.000
INVERSIONES EN MATERIALES	2.000	MAQUINAS Y EQUIPOS	1.000
TOTAL	10.000	TOTAL	2.000

Cuadro 13. Detalle de la inversión.

UNEMI				
DIVISIÓN: _INGENIERÍA INDUSTRIAL		EMPRESA: SOCIEDAD AGRICOLA E INDUSTRIAL SAN CARLOS		
NOMBRE DEL PROYECTO: RECONSTRUCCIÓN DE LOS COJINETES DE DESLIZAMIENTO DE LA TURBINA TURBODYNE MODELO 281WHB MEDIANTE EL PROCESO DE FUNDICION CENTRÍFUGA				
DETALLES DE INVERSIONES (Expresado en US\$ Dólares)				
DETALLE	COSTO UNITARIO	CANTID.	SUBTOTAL	TOTAL
ACTIVOS FIJOS				
Diseño	\$ 2.500,00	1	\$ 2.500,00	\$ 2.500,00
Mano de Obra	\$ 2.900,00	1	\$ 2.900,00	\$ 2.900,00
sistema eléctrico	\$ 1.100,00	1	\$ 1.100,00	\$ 1.100,00
Fabricación (cubierta)	\$ 1.500,00	1	\$ 1.500,00	\$ 1.500,00
TOTAL DE ACTIVOS FIJOS				\$ 8.000,00
CAPITAL DE TRABAJO	4.000			
CARTERA (ING. SAN CARLOS)	4.000			
Preparativos	2.000			\$ 2.000,00
TOTAL PROYECTO				\$ 10.000,00

Cuadro 14. Cronograma de desembolso.

 UNEMI				
DIVISIÓN: _INGENIERÍA INDUSTRIAL		EMPRESA: SOCIEDAD AGRICOLA E INDUSTRIAL SAN CARLOS		
NOMBRE DEL PROYECTO: RECONSTRUCCIÓN DE LOS COJINETES DE DESLIZAMIENTO DE LA TURBINA TURBODYNE MODELO 281WHB MEDIANTE EL PROCESO DE FUNDICION CENTRÍFUGA				
DETALLES DE INVERSIONES (Expresado en USS Dólares)				
DETALLE	COSTO UNITARIO	CANTID.	SUBTOTAL	TOTAL
ACTIVOS FIJOS				
Diseño	\$ 2.500,00	1	\$ 2.500,00	\$ 2.500,00
Mano de Obra	\$ 2.900,00	1	\$ 2.900,00	\$ 2.900,00
sistema eléctrico	\$ 1.100,00	1	\$ 1.100,00	\$ 1.100,00
Fabricación (cubierta)	\$ 1.500,00	1	\$ 1.500,00	\$ 1.500,00
TOTAL DE ACTIVOS FIJOS				\$ 8.000,00
CAPITAL DE TRABAJO	4.000			
CARTERA (ING. SAN CARLOS)	4.000			
Preparativos	2.000			\$ 2.000,00
TOTAL PROYECTO				\$ 10.000,00

Cuadro 15. Presupuesto del proyecto.

PRESUPUESTO DEL PROYECTO									
DETALLE	Costo de cálculos y planos	Costo de equipos Locales	Costo de materiales importados	Costo de materiales locales	Costo de obras civiles	Costo de edificios	Costo de sistema eléctrico	Costo de Instalación	Total
DISEÑO	\$ 2.500,00								\$ 2.500,00
FABRICACIÓN			\$ 450,00	\$ 600,00				\$ 450,00	\$ 1.500,00
MANO DE OBRA				\$ 1.000,00	\$ 800,00			\$ 1.100,00	\$ 2.900,00
Sistema eléctrico				\$ 500,00				\$ 600,00	\$ 1.100,00
Preparativos		\$ 1.000,00						\$ 1.000,00	
TOTAL DE ACTIVOS FIJOS	\$ 2.500,00	\$ 1.000,00	\$ 450,00	\$ 2.100,00	\$ 800,00			\$ 3.150,00	\$ 10.000,00
TOTAL									\$ 10.000,00

Cuadro 16. Plan de financiamiento.

INVERSION		8.000,00			
FINANCIAMIENTO PROPIO		4.000,00			
FINANCIAMIENTO CARTERA		4.000,00			
TAZA DE INTERES		10%			
PERIODO	CAPITAL	PAGO	INTERESES	AMORTIZACION	SALDO
1	4000,00	749,78	400,00	349,78	3650,22
2	3650,22	749,78	365,02	384,76	3265,46
3	3265,46	749,78	326,55	423,23	2842,23
4	2842,23	749,78	284,22	465,56	2376,67
5	2376,67	749,78	237,67	512,11	1864,56
6	1864,56	749,78	186,46	563,32	1301,24
7	1301,24	749,78	130,12	619,66	681,58
8	681,58	749,78	68,16	681,62	0

Cuadro 17. Estado de resultados.

ESTADO DE RESULTADOS (costos / beneficios)								
DETALLE	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8
Ingresos								
Ahorro de Reconstrucción	\$ 600,00	\$ 600,00	\$ 650,00	\$ 700,00	\$ 750,00	\$ 800,00	\$ 850,00	\$ 900,00
Ahorro de Dinero	\$ 400,00	\$ 450,00	\$ 500,00	\$ 500,00	\$ 550,00	\$ 600,00	\$ 650,00	\$ 700,00
TOTAL DE INGRESOS	\$ 1.000,00	\$ 1.050,00	\$ 1.150,00	\$ 1.200,00	\$ 1.300,00	\$ 1.400,00	\$ 1.500,00	\$ 1.600,00
COSTO								
Mano de obra Técnica	\$ 200,00	\$ 200,00	\$ 350,00	\$ 400,00	\$ 400,00	\$ 450,00	\$ 450,00	\$ 500,00
Depreciación	\$ 250,00	\$ 250,00	\$ 270,00	\$ 300,00	\$ 300,00	\$ 350,00	\$ 350,00	\$ 400,00
Total costos	\$ 450,00	\$ 450,00	\$ 620,00	\$ 700,00	\$ 700,00	\$ 800,00	\$ 800,00	\$ 900,00
UTILIDAD BRUTA	\$ 550,00	\$ 600,00	\$ 530,00	\$ 500,00	\$ 600,00	\$ 600,00	\$ 700,00	\$ 700,00
Gastos de mantenimiento	\$ 300,00	\$ 300,00	\$ 300,00	\$ 300,00	\$ 300,00	\$ 300,00	\$ 300,00	\$ 300,00
UTILIDAD OPERACIONAL	\$ 250,00	\$ 300,00	\$ 230,00	\$ 200,00	\$ 300,00	\$ 300,00	\$ 400,00	\$ 400,00
Otros egresos	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
Intereses pagados	\$ 400,00	\$ 365,02	\$ 326,55	\$ 284,22	\$ 237,67	\$ 186,46	\$ 130,12	\$ 68,16
Otros ingresos de Ing. particulares(opcional)	\$ 2.000,00	\$ 2.000,00	\$ 2.000,00	\$ 2.000,00	\$ 2.000,00	\$ 2.000,00	\$ 2.000,00	\$ 2.000,00
Utilidad (pérdida) antes utilidades trabajadores	\$ 1.850,00	\$ 1.934,98	\$ 1.903,45	\$ 1.915,78	\$ 2.062,33	\$ 2.113,54	\$ 2.269,88	\$ 2.331,84
Utilidad a trabajadores, 15%	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
Utilidad antes de impuesto a la renta	\$ 1.850,00	\$ 1.934,98	\$ 1.903,45	\$ 1.915,78	\$ 2.062,33	\$ 2.113,54	\$ 2.269,88	\$ 2.331,84
Impuesto a la renta	\$ 462,50	\$ 483,75	\$ 475,86	\$ 478,95	\$ 515,58	\$ 528,39	\$ 567,47	\$ 582,96
Utilidad neta	\$ 1.387,50	\$ 1.451,24	\$ 1.427,59	\$ 1.436,84	\$ 1.546,75	\$ 1.585,16	\$ 1.702,41	\$ 1.748,88

Cuadro 18. Flujo de fondos.

DETALLE	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8
Utilidad		1387,50	1451,24	1427,59	1436,84	1546,75	1585,16	1702,41	1748,88
Depreciación									
Flujo		1387,50	1451,24	1427,59	1436,84	1546,75	1585,16	1702,41	1748,88
Inversiones									
Maquinaria y equipo									
Capital de trabajo									
Flujo total	10000,00	1387,50	1451,24	1427,59	1436,84	1546,75	1585,16	1702,41	1748,88
Valor de rescate									
Flujo neto total	-\$ 10.000,00	2775,00	2902,48	2855,18	2873,68	3093,50	3170,32	3404,82	3497,76
TIR del proyecto	25 %								
VAN del proyecto	\$ 6.118,70								
Tiempo de recuperación									

5.7. DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA

La siguiente propuesta nace de incrementar el periodo de vida útil de los cojinetes deslizamiento de la turbina de vapor Turbodyne 281 WHB mediante un método alternativo de reconstrucción, para ello se realizó una investigación de campo la cual fue el incentivo para la creación e implementación de una máquina de fundición centrífuga.

Para hacer tangible esta propuesta se contó con el total apoyo técnico y financiero por parte de la superintendencia de maquinarias respecto a materiales y personal existente dentro del departamento de fábrica, es así como se empezó con la construcción de nuestro prototipo experimental.

Además contamos con el apoyo técnico y físico del personal de mantenimiento mecánico y eléctrico quienes colaboraron con la construcción e ideas para mejorar el diseño y eficiencia del equipo, el mismo que se empezó a construir a partir del veinte de enero del presente año.

Una vez se terminó de construir la máquina se empezamos con la reconstrucción de los cojinetes de deslizamiento, los cuales mostraban un acabado superficial excelente, se pudo apreciar que existió una buena cohesión ya que al implementar el equipo controlamos variables que afectan al buen proceso de reconstrucción, se prevé aumentar en por lo menos el doble de tiempo de vida útil con respecto al método de reconstrucción anterior.

5.7.1. Actividades

Construcción de máquina de fundición centrífuga.

Luego de recibir la autorización por parte de la superintendencia de maquinarias se procedió a la elección de los materiales que principalmente fueron aceros inoxidable, acero 1045 y acero A 36.

Se procedió a rolar una plancha de acero inoxidable de 9.53mm (3/8") de espesor hasta crear un cilindro de 304.8mm (12 ") de diámetro con una altura 304.8mm (12"), la misma que será la cara exterior de la máquina de fundición centrífuga.



Figura 23. Proceso de rolado y rectificado de cara externa de dispositivo.

De un tramo de tubo de acero inoxidable de 254mm (10") de diámetro cedula 40 y 304.8mm (12") de longitud se construyó la cara interna de nuestra la máquina.



Figura 24. Cara interna de dispositivo rectificada.

En la base inferior del dispositivo se soldó una tapa la cual fue elaborada a partir de una plancha de acero inoxidable de 9.53mm (3/8") de espesor, se realizo una perforación central, debido a que por aquí entrara un eje de acero SAE1045 de 22.23 (7/8") de diámetro y 558.8mm (22") de longitud, este eje será el responsable de transmitir la potencia y velocidad al dispositivo móvil.



Figura 25. Eje de dispositivo.



Figura.26. Tapa inferior de dispositivo.

Con el fin de evitar pérdidas de energía calorífica y mantener una temperatura adecuada para el proceso de reconstrucción se relleno la parte intermedia que nos quedo entre la cara exterior y la cara interior de la maquina con manta aislante de fibra de vidrio.



Parte intermedia con lana mineral

Figura 27. Aislante térmico de lana mineral.

En la superficie de la cara interior del dispositivo se fijaron seis soportes para resistencia los mismos que están hechos a partir de polímeros de 22.3mm (7/8") de espesor, los cuales para su mejor distribución están ubicados con un ángulo de 60° entre sí.



Soportes para resistencia

Figura 28. Polímeros porta resistencias.

La máquina posee un dispositivo interior móvil el cual tiene un diámetro de 165mm (6.1/2”), y una altura de 134.94mm (5.5/16”) el mismo que va a girar a 450 revoluciones por minuto.



Figura 29. Dispositivo móvil

Para asegurar la estabilidad del dispositivo móvil se colocaron tres puntos centrantes ubicados a 120° entre sí, los mismos que pueden ser regulados según las necesidades del operador.

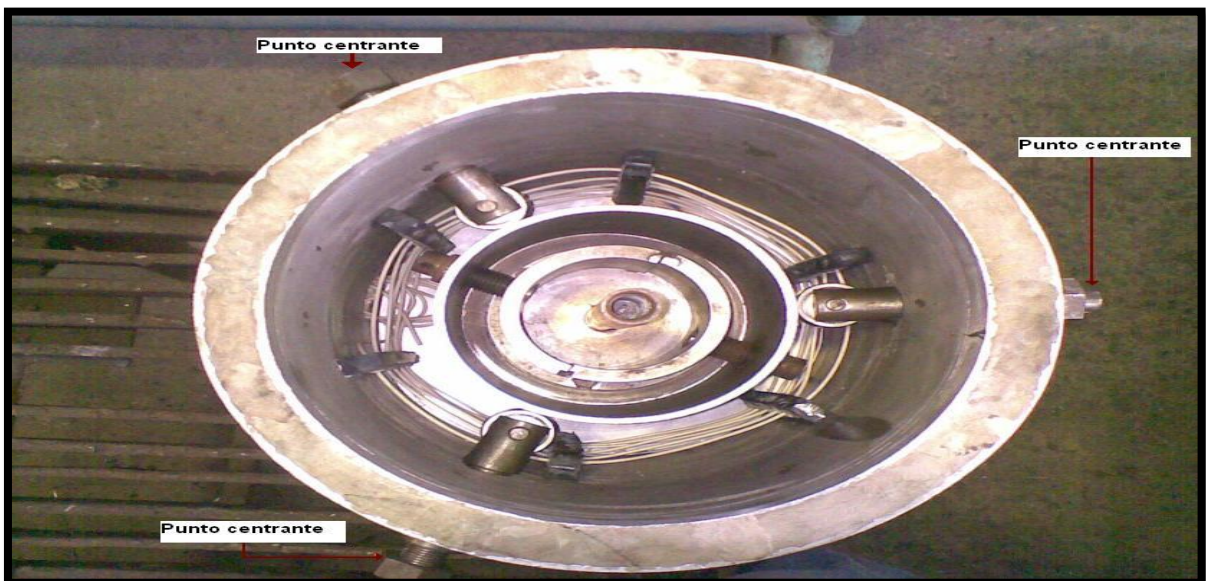


Figura 30. Puntos centrantes de dispositivo móvil.

En la parte exterior del dispositivo móvil se colocaron hileras de resistencias las que tienen la función de elevar la temperatura del cojinete a 90 °C, estas resistencias son regulables según la temperatura que requiera el operador y sus valores están entre 50 y 110 grados centígrados.



Figura 31. Redes de resistencias eléctricas.

Para efectuar la sujeción de la pareja de cojinetes de deslizamiento se construyeron dos medias lunas, las que actuarán como abrazaderas regulables dentro del dispositivo móvil.



Figura 32. Método de sujeción de los cojinetes dentro del dispositivo.

Se mando a maquinar un bocín de acero inoxidable (ss 416) de 19.05 x 57.15mm (3/4 x 2.1/4") que ingresara en el eje y servirá para obtener el espesor de babbitt requerido para la reconstrucción 6.35mm (1/4") por radio.



Figura 33. Bocín de acero inoxidable empleado para conseguir espesor del recubrimiento.

Se maquino un pedazo de plancha de 9.53mm (3/8") el cual fue cortado para obtener un plato de 254mm (10") de diámetro que servirá como tapa superior para el dispositivo, en la parte central se hizo una perforación lisa de 22.23mm (7/8") a medida del eje central.



Figura 34. Tapa superior de dispositivo móvil.

Para los soportes del eje se maquinaron dos cajas las cuales fueron elaboradas a partir de una plancha de 38.1 mm (1.1/2") de espesor, en el interior llevan un rodamiento 6304 zz rígido de bola la caja inferior esta fija a la parte exterior del dispositivo por medio de soldadura.



Figura 35. Vista inferior del dispositivo durante su construcción.

Luego de elegir el modelo de ingreso y de salida del cojinete se decidió que la caja superior sería desmontable para facilitar la manipulación del operador durante el proceso de reconstrucción del cojinete, para ello se elaboraron dos soportes ubicados a 180° entre sí los que servirán como brazos tensores de la caja.



Figura 36. Cajera superior diseñada para facilitar la entrada y salida del cojinete reconstruido.

Por último se acoplo el motor eléctrico y se realizaron las conexiones eléctricas para la puesta en operación del equipo, es decir se colocaron contactores, variador de frecuencia 440 V, termocupla y micro controladores de temperatura.



Figura 37. Máquina para reconstrucción de cojinetes.

Preparación de la superficie.

Para lograr una mejor fijación del babbitt en el cojinete, se puede ayudar mediante dos técnicas, la una consiste en exponer al cojinete previamente libre del recubrimiento anterior a una descarga de partículas abrasivas, o mediante el maquinado, este último es el que se escogió para la preparación de nuestro cojinete ya que al realizar este proceso además de limpiar el área de trabajo también

logramos mejorar la macro estructura del cojinete garantizando de esta forma una mayor fijación del babbitt y finalmente se debe elegir la cantidad adecuada del material de aporte es decir babbitt.



Figura 38. Peso del babbitt antes de fundir.

Preparación del cojinete antes de su reconstrucción.

A continuación se presenta una lista de parámetros que se deben respetar para realizar una correcta reconstrucción de los cojinetes de deslizamiento utilizando el prototipo creado por los autores.

- ✦ Realizar una limpieza general del cojinete con el fin de eliminar cualquier tipo de impurezas, ya sean residuos dejados por capas anteriores o cualquier tipo de impurezas que pueda afectar a la reconstrucción, a la vez que se le debe dar un acabado con cierta rugosidad para que esto facilite la adherencia de la nueva capa.



Figura 39. Cojinete sometido a limpieza superficial.

- ⤴ Se colocan los cojinetes a ser revestido dentro del dispositivo móvil, debe ser asegurado para luego proceder a elevar la temperatura del cojinete y así prepararlo para aplicarle el babbitt.



Figura 40. Cojinetes dentro del dispositivo móvil.

- ⤴ Se debe calentar el babbitt fuera de la máquina para que este llegue a su estado líquido, luego será vertido dentro del dispositivo móvil el cual se encontrara girando, así paulatinamente este se irá acoplando a las paredes del cojinete.



Figura 41. Babbitt en estado líquido dentro del crisol.

- ⤴ Una vez alcanzado los 365 °C se procede al vertido del colado dentro del dispositivo móvil para que este comience el trabajo de distribución mediante fuerza centrífuga.
- ⤴ Una vez finalizado este proceso dejamos reposar el cojinete para dentro del dispositivo para evitar que nuestro cojinete sufra un cambio drástico de temperatura.
- ⤴ Finalmente se lo lleva al taller mecánico en donde se procederá a dar la medida a la cual trabajara el cojinete de este modo concluimos con el trabajo de reconstrucción.

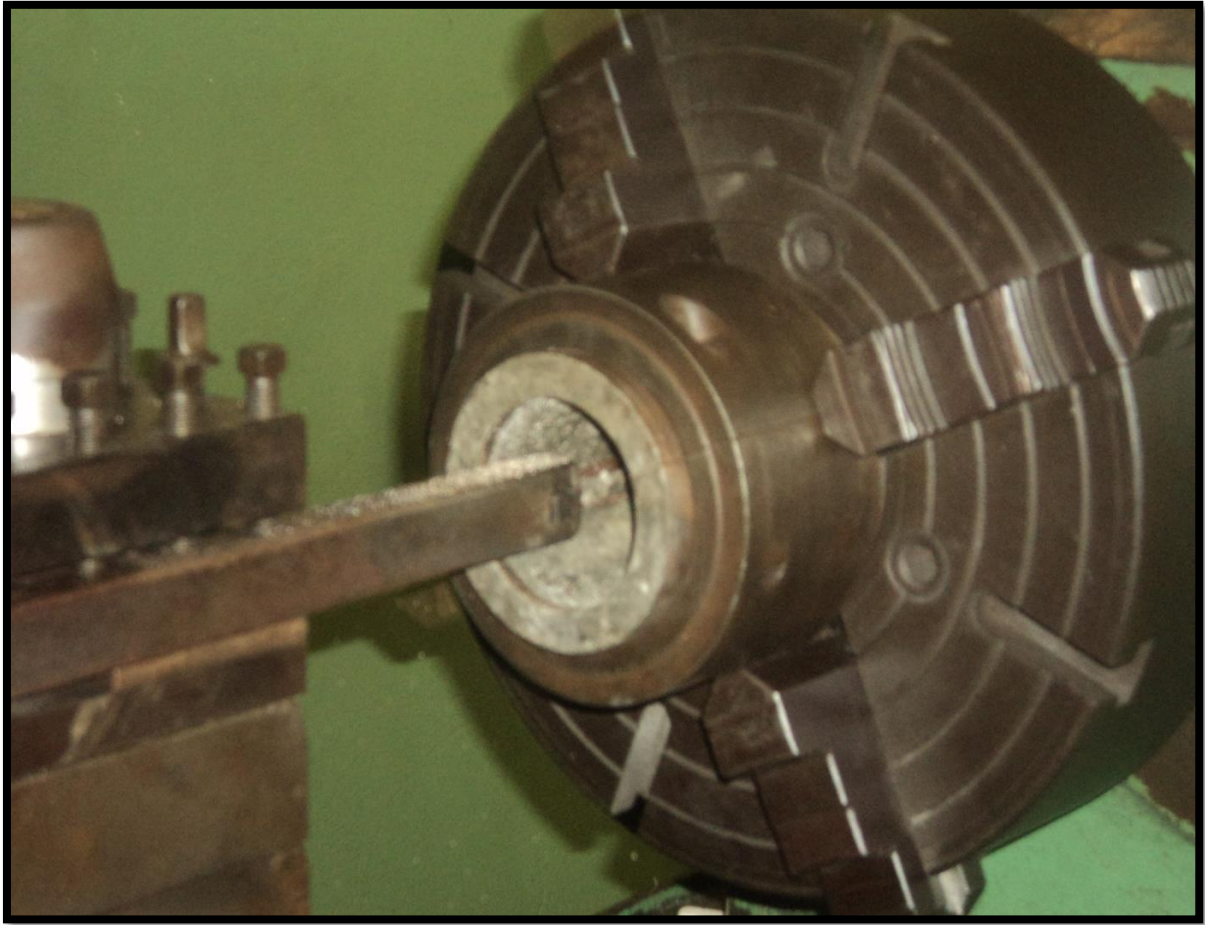


Figura 42. Cojinete revestido durante su maquinado final.

5.7.2. Recursos, Análisis Financiero

En la elaboración e implementación de nuestro proyecto se involucro recurso humano, material y financiero los mismos que serán mostrados a continuación:

Recurso Humano.

- ⤴ Tutor designado por la unidad académica.
- ⤴ Cuerpo técnico y administrativo del departamento de Fabrica del Ingenio San Carlos.
- ⤴ Estudiantes egresados de la carrera de Ingeniería Industrial en la Universidad Estatal de Milagro.

Recurso Material.

- ⤴ Resistencia térmica flexible.
- ⤴ Motor trifásico 0.75 HP – Voltaje 460.
- ⤴ Tomacorriente macho y hembra de 15 A – 220 V.
- ⤴ Swich ojo de cangrejo 15 A – 220 V.
- ⤴ Variador de frecuencia 440 V.
- ⤴ Contactor – Termocupla – Micro controladores de temperatura.
- ⤴ Tramo de tubería de acero inoxidable T 304 de 152.4mm (6”) de diámetro.
- ⤴ 0.04 m² de plancha de acero carbono A 36 de 38.1 mm (1.1/2”) espesor.
- ⤴ 558.8 mm (22”) de eje SAE 1045 de 22.23 mm (7/8”) de diámetro.
- ⤴ Tramo de tubo acero inoxidable T304 de 31.75 mm (1.1/4”) de diámetro.
- ⤴ Lana mineral.
- ⤴ Masilla epóxica.
- ⤴ Crisol Grafitado de 133.35 mm (5.1/4”) de diámetro.
- ⤴ Caja plástica de (254 x 127) mm (10 x 5”) para instrumentación.
- ⤴ Polímero de 22.23 mm (7/8”) de espesor.

Recurso Financiero.

- ⤴ Sociedad Agrícola e Industrial San Carlos.
- ⤴ Autofinanciamiento.

5.7.3. Impacto

Con la implementación de nuestra maquina de fundición centrífuga se ha logrado un mejorar acabado superficial de los cojinetes, disminuir el tiempo que lleva la reconstrucción, tomando en consideración el método de reconstrucción manual y la reducción a la exposición de gases nocivos por parte del personal encargado de la de realizar el revestido.

Se prevee duplicar la vida útil del cojinete de deslizamiento con respecto al sistema de reconstrucción anterior, es así que los próximos cojinetes que serán

ensamblados en las turbinas tendrán condiciones físicas y mecánicas capaces de llevar a cabo tal expectativa.

Acabado superficial.- se puede apreciar una reconstrucción uniforme libre de macro porosidades con una mayor capacidad de fijeza con el metal base y a diferencia de lo obtenido mediante el método de reconstrucción manual ya que este presentaba demasiadas fallas de reconstrucción ya sea por impurezas dentro del proceso de reconstrucción o por la aplicación inadecuada del babbitt.

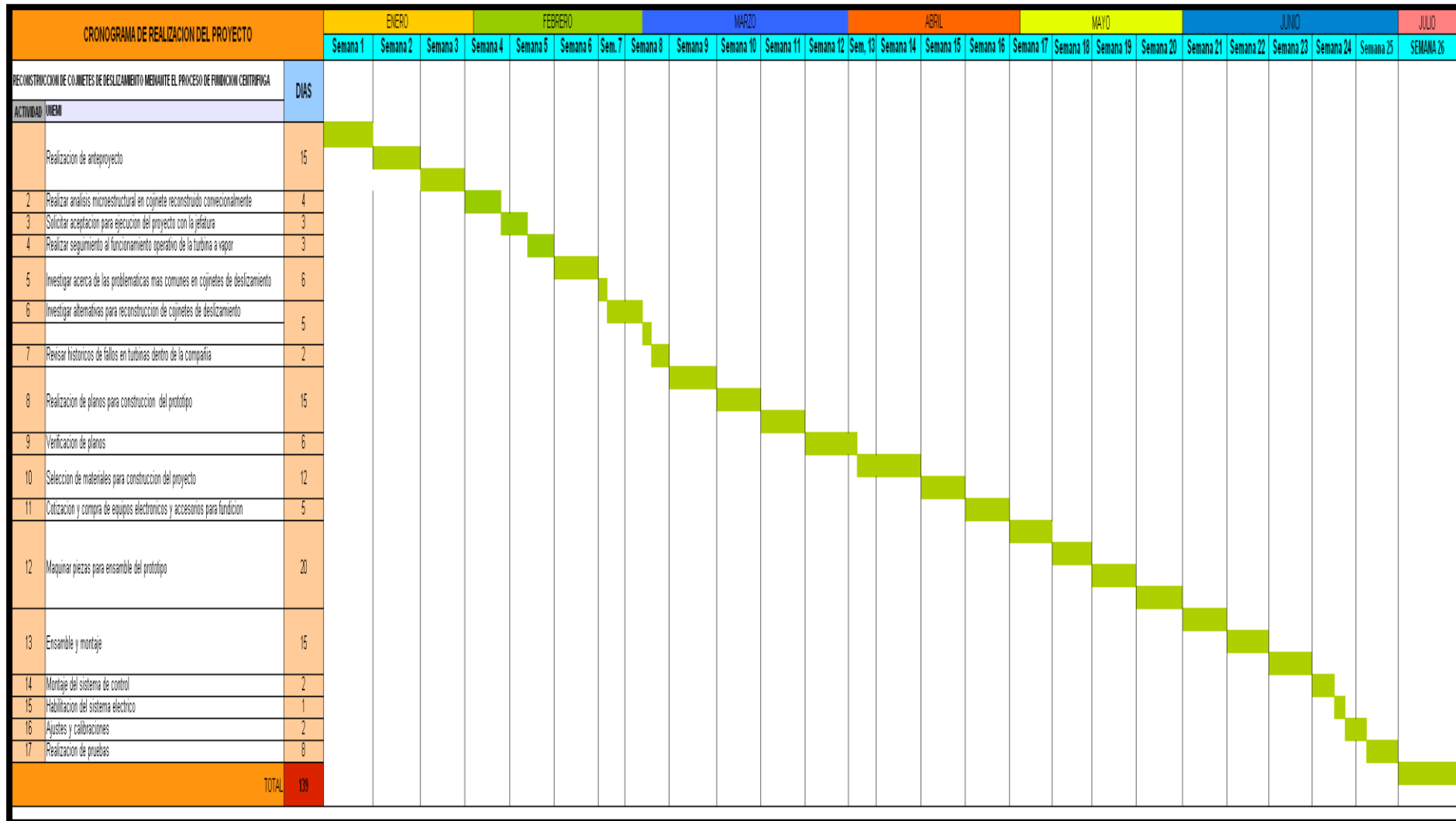
Disminución del tiempo empleado para la reconstrucción.- al ser un proceso de fundición este es mucho más rápido y eficiente que el de soldadura, debido a que simplemente se vierte un colado dentro del dispositivo y se espera hasta que el proceso de adherencia del babbitt al metal base haya concluido, lo cual no era posible con el método de soldadura por caudín, ya que la aplicación del recubrimiento se realizaba poco a poco sin garantías de que el babbitt depositado en el cojinete este en estado líquido.

Reducción a la exposición de gases tóxicos.- con nuestro proceso de reconstrucción el operador no está directamente ligado al proceso y el tiempo de exposición se reduce, es decir en el método anterior el operador tenía que estar muy cerca del cojinete mientras derretía el babbitt y lo aplicaba sobre la superficie a revestir, ahora solo se calienta el babbitt en un crisol para luego depositarlo en el dispositivo, además los tiempos por reconstrucción se reducen de ocho horas por el método anterior a una hora por nuestro método de fundición centrífuga.

5.7.4 Cronograma.

Para llevar a cabo el total cumplimiento de las actividades previas para la construcción y puesta en marcha de nuestra maquina de fundición centrífuga se ha elaborado el siguiente cronograma de trabajo:

Diagrama de Gantt.



5.7.5. Lineamiento para evaluar la propuesta

Con la implementación de nuestra máquina de fundición centrífuga, en la aplicación del recubrimiento del cojinete se ha obtenido resultados tales como, adherencia, buena cohesión base y recubrimiento, eliminación de macro porosidades así como la reducción de gases tóxicos.

Adherencia; Podemos apreciar la preparación de la superficie del cojinete a reconstruir, en la cual se han tomado en consideración las variables que van a influir en la adherencia del babbitt con el material base, con el proceso anterior estas variables no se controlaban debido a que en este tipo de reconstrucción por soldadura de caudín es afectada por contaminantes externos y cambios bruscos de temperatura, agentes que reducen en gran proporción la ligación del material de aporte, con nuestro método hemos logrado controlar estas variables ya que el proceso de vaciado de la colada así como el tratamiento térmico al cual es sometido el cojinete antes de la fundición es controlado.

Buena cohesión; Con la aplicación de nuestro método de fundición se puede percibir que existe una distribución homogénea del colado sobre la superficie a reconstruir, se procedió a elevar la temperatura del cojinete hasta 150 grados centígrados, de este modo se preparo el material base para luego proceder al vaciado del babbitt el mismo que tendrá una temperatura de vaciado de 450 grados centígrados.

Eliminación de macro porosidades; una vez realizado el maquinado final del cojinete se aprecio un acabado uniforme en las superficies revestidas sin presencia de macro porosidades, que con el método de reconstrucción se presentaban en todos los cojinetes revestidos.

Reducción de gases tóxicos; Se ha reducido la cantidad de gases contaminantes debido a que en el método anterior se utilizaba a mas.

Conclusiones.

1.- La propuesta realizada por los autores mejoro la macro y micro estructura de los cojinetes revestidos mediante el método de fundición centrífuga, la distribución equitativa sobre la superficie a reconstruir fue notable a diferencia del método anterior, además se logro una mejor adherencia del babbitt con el metal base, al no existir contacto directo con el medio externo se consiguió reducir la presencia de agentes contaminantes, todos estos factores favorables nos garantiza un aumento en la vida útil del cojinete.

2.- El equipo semiautomático diseñado cumplió con las expectativas prevista dentro de la presente tesis, aunque aún está pendiente el proceso de investigación de la intensidad de desgaste a la cual estarán sometidos los cojinetes reconstruidos, debido a que este trabajo fue aplicado a un campo real mas no de laboratorio y el tiempo estimado para la primera comprobación de los cojinetes recuperados con este proceso está estimada para un lapso de dos años calendario a partir de la presente fecha.

3.- Se consiguió reducir el desperdicio de materiales y el índice de contaminación por gases de soldadura al que estaba expuesto el encargado de la reconstrucción de los cojinetes, puesto que ahora el proceso se ha reducido a aplicar el babbitt en estado liquido dentro del dispositivo móvil y este de forma automática lo distribuirá sobre la superficie a reconstruir.

Recomendaciones.

- 1.-** Se sugiere continuar con la investigación de los elementos que se utilizan para la reconstrucción del material, para ello recomendamos un análisis de microestructuras y porcentajes de contenidos de los nuevos posibles materiales de aporte, como es el caso del antimonio el cual a diferencia del estaño tiene una dureza mayor y un punto de fusión más elevado.
- 2.-** Nuestra maquina aún puede ser mejorada por lo que recomendamos la automatización total del equipo, la misma que debe poseer un sistema que permita variar valores de temperatura y velocidad de acuerdo a las características microestructurales de cada material de aporte que se requiera emplear.
- 3.-** De realizarse cambios en cuanto a la elección del material a utilizar para la reconstrucción de los cojinetes, pedimos elaborar un estudio del tipo de lubricante que es utilizado, con ello se pretende verificar si este cumple con todos los requisitos para mantener la correcta lubricación hidrodinámica en el equipo.
- 4.-** continuar con la investigación luego del overhaul que se realiza cada seis meses, medir la intensidad lineal de desgaste y realizar un análisis del lubricante.

BIBLIOGRAFIA

Libros consultados

- Babbitt bearing, Allogs reference guide pdf 2002.
- Elementos de Maquinas, por Bernard J. Hanrock. (Mc. Graw-Hill).
- Introducción a la metalurgia física, Syney H. Avner. (editorial Fuentes Impresores México 1985).
- “A History of Metallographic”, Smith, Cyril Stanley. University of Chicago Press.
- “Man and metals”, Rickard Thomas. Mc Graw Company.
- “Mechanical Testing”, ASM HANBOOK, 1994 Copyright by ASM, USA, VOL 1, p 128.

Páginas web

- www.asme.org
- <http://www.astm.org>
- www.centrifuga.com
- www.gfmco.com/centrifugado1.htm
- www.renovetec.com
- www.sae.org
- www.wordReference.com

Otros.

Ing. José Granizo, Documentos estadísticos.

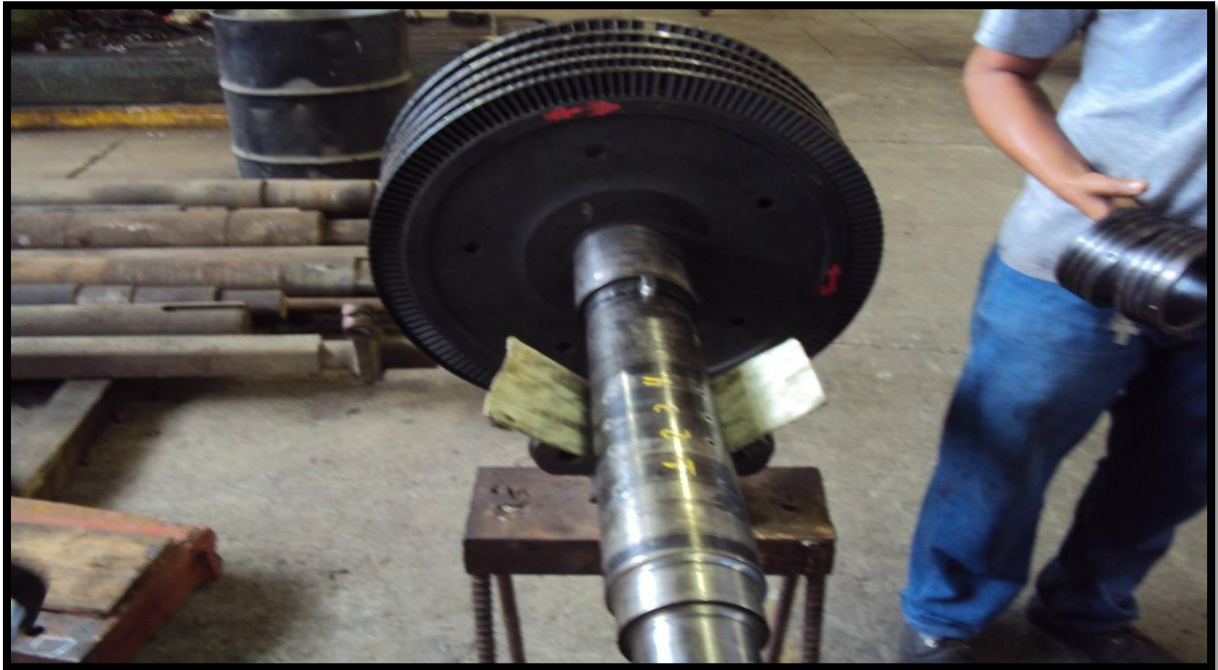
Ing. Aroca Gonzalo, Documentos de referencia de turbinas de vapor.

Catalogo, Turbina Turbodyne modelo 281 WHB

ANEXOS

ANEXO 1

Fotografías durante la reparación del primer disco de turbina del turbogenerador 2 del INGENIO SAN CARLOS.



Rotor de turbina.



Aceite durante el proceso de calentamiento.



Disco de turbina dilatado por el calor.



Eje de turbina contraído con la aplicación hielo seco.



Disco de turbina, al momento de colocarlo en el eje



Disco de turbina colocado en su sitio de trabajo.



Finalización del trabajo de montaje del disco de turbina.

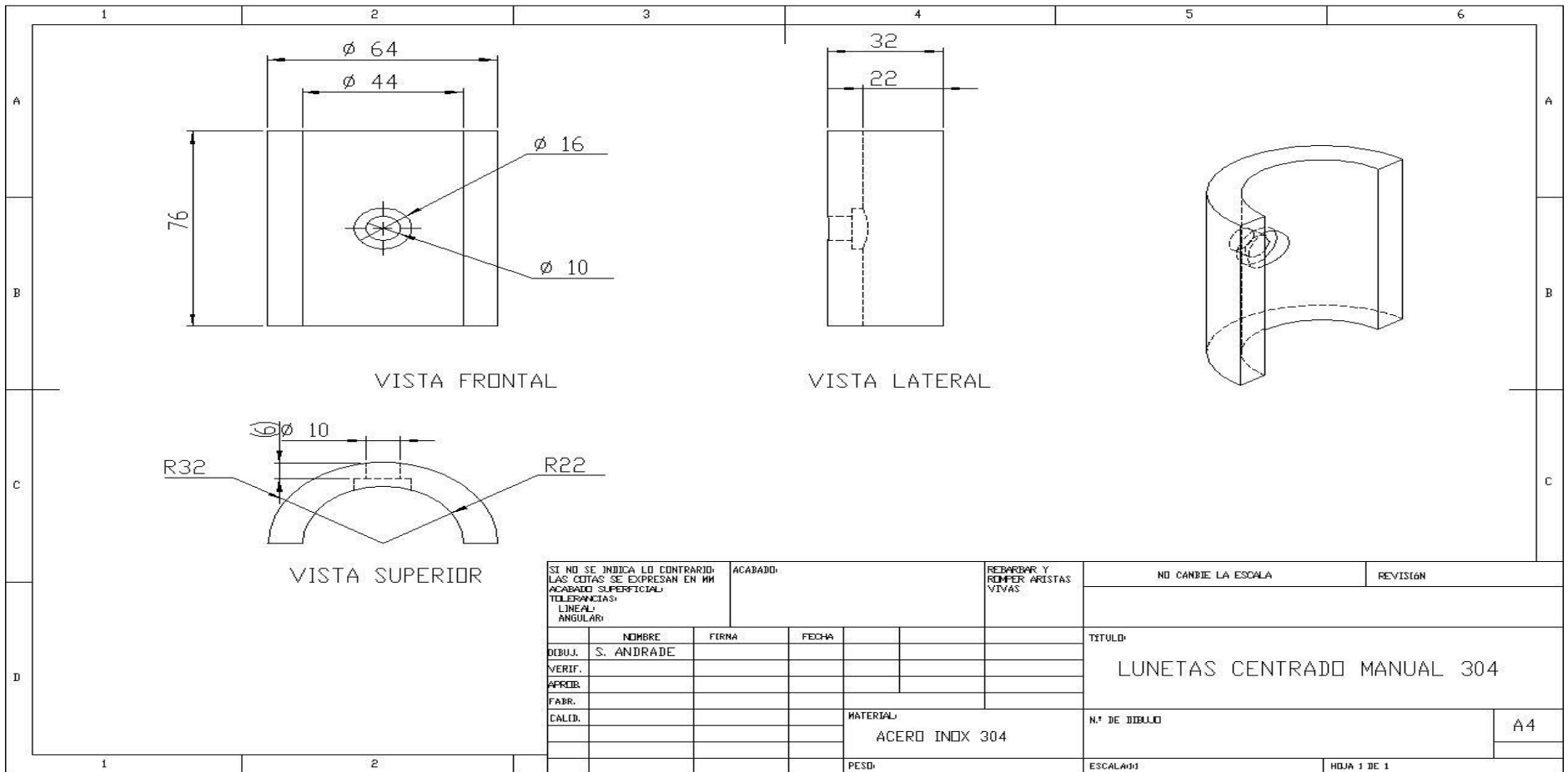
ANEXO 2

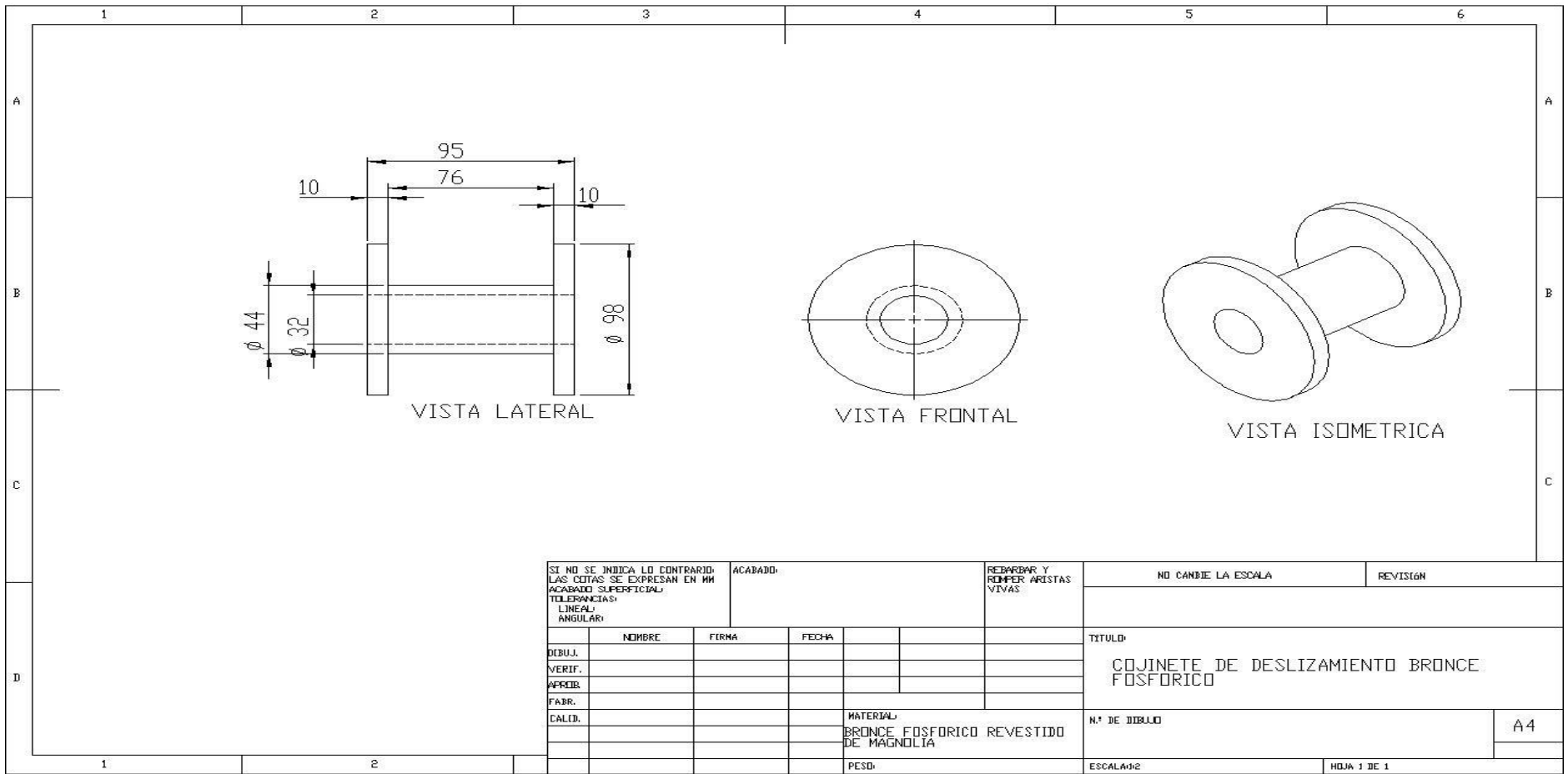
Cuadro 16. Carta de proceso tecnológico.

Proceso tecnológico para la reconstrucción de cojinetes de deslizamiento de la turbina Turbodyne 281 WHB.				
Reconstrucción de la superficie interna de los cojinetes por el método de fundición centrífuga.				
Condiciones técnicas de los cojinetes a reconstruir.				
1.- Examen visual, los cojinetes a reconstruir deben ser pre maquinados para quitarles el material de aporte anterior y para realizar la preparación de su superficie.				
2.- Todo cojinete que presente un elevado desgaste en su estructura base no será tomado en cuenta para el proceso de reconstrucción.				
3.- Cojinetes con una medida inferior a 63.5mm en su diámetro interior no será sometido al proceso de reconstrucción.				
4.- Cojinetes con una medida inferior a 118mm en su longitud no serán sometidos al proceso de reconstrucción.				
N° Operación	Nombre de la operación	Descripción de la operación y régimen	Maquinas, Instrumentos y Dispositivos	Condiciones Técnicas
1	Examen visual.	Inspeccionar los cojinetes a reconstruir y revisar el estado del material base.	Lienzo.	Las dimensiones no deben ser menores a las especificadas (63.5mm en su diámetro interior y 118mm en su longitud).
2	Limpieza del cojinete.	Realizar la limpieza de la superficie a reconstruir mediante un proceso de mecanizado.	Torno de revolver, cuchilla de acero rápido de 3/8" x 3/8".	La superficie a reconstruir debe presentar brillo metálico.
3	Proceso de estañado.	Aplicar una capa de estaño de forma manual, para preparar la superficie a reconstruir.	Cautín, estaño puro, pasta soldarin.	Después de realizar el estañado se deja enfriar el cojinete a temperatura ambiente durante 30 minutos.
4	reconstrucción.	Acoplar los cojinetes a reconstruir dentro del dispositivo móvil, encenderle equipo y proceder a fundir el babbitt (350°C) para realizar el vaciado dentro del equipo el cual se encuentra girando a 450 rpm	Maquina de fundición centrífuga, babbitt, equipo de oxicorte.	Luego de realizar el aporte de babbitt se deja el cojinete durando 2 horas en el interior del dispositivo para que se enfríe dentro de la maquina.
5	Montaje en el torno	Se coloca el juego de cojinetes en una mordaza especialmente creada para este proceso, el centrado de la pieza se lo realiza utilizando un reloj comparador debido a la exactitud que se requiere para el proceso de rectificado	Torno de revolver, reloj comparador.	Trabajar bajo este régimen.
6	Rectificado.	Montar el juego de cojinetes en el torno para rectificar a un régimen de 500 rpm utilizando una cuchilla de acero rápido de 3/8" x 3/8", avance de 0,041mm medio, un afilado de cuchilla punta redonda y una profundidad de corte de 2mm por radio	Torno de revolver, cuchilla de acero rápido de 3/8" x 3/8".	trabajar bajo régimen de rectificado de acuerdo a la medida del eje de la turbina donde trabajara este cojinete.

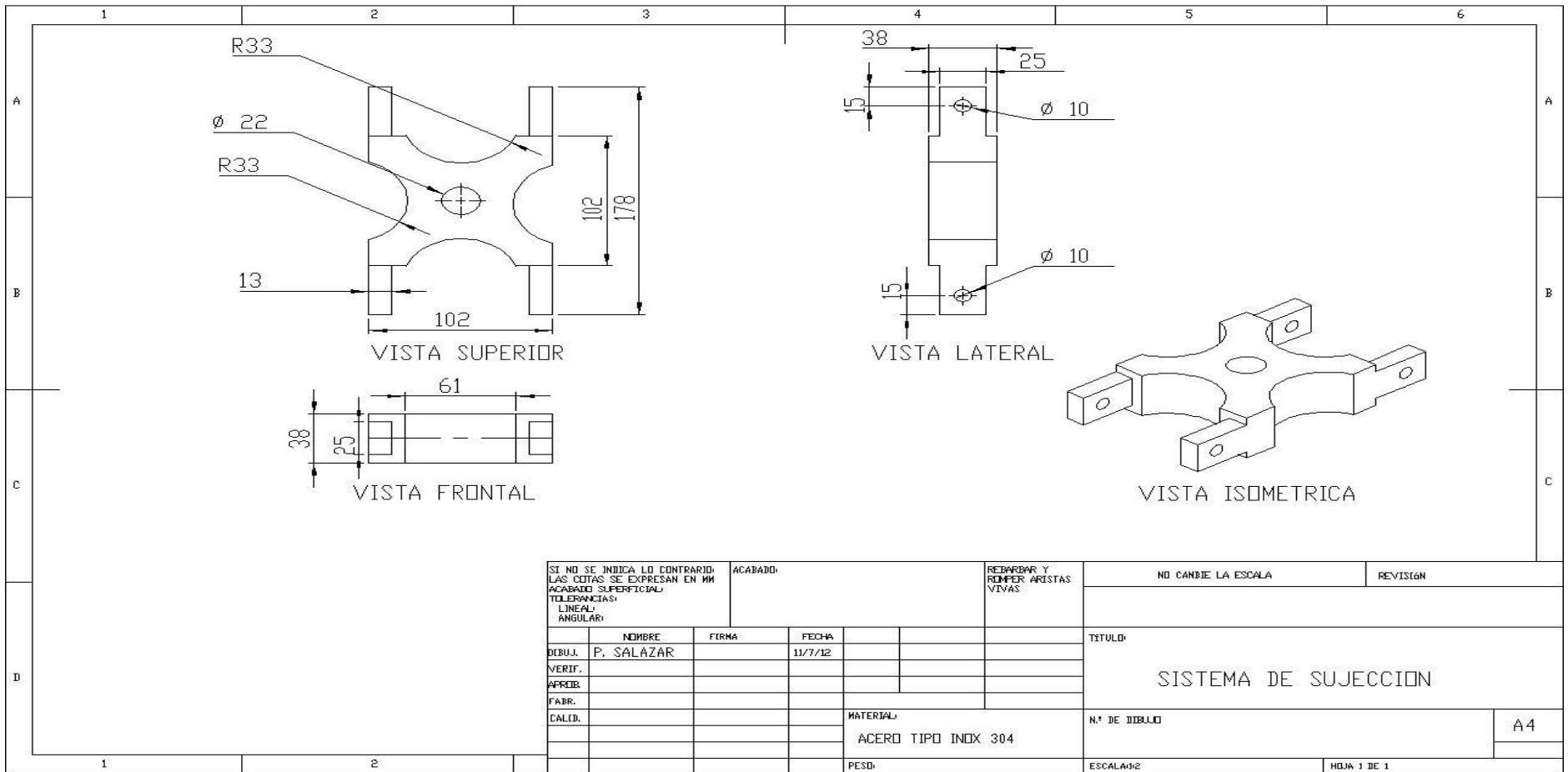
ANEXO 3

Planos de máquina de fundición centrífuga.

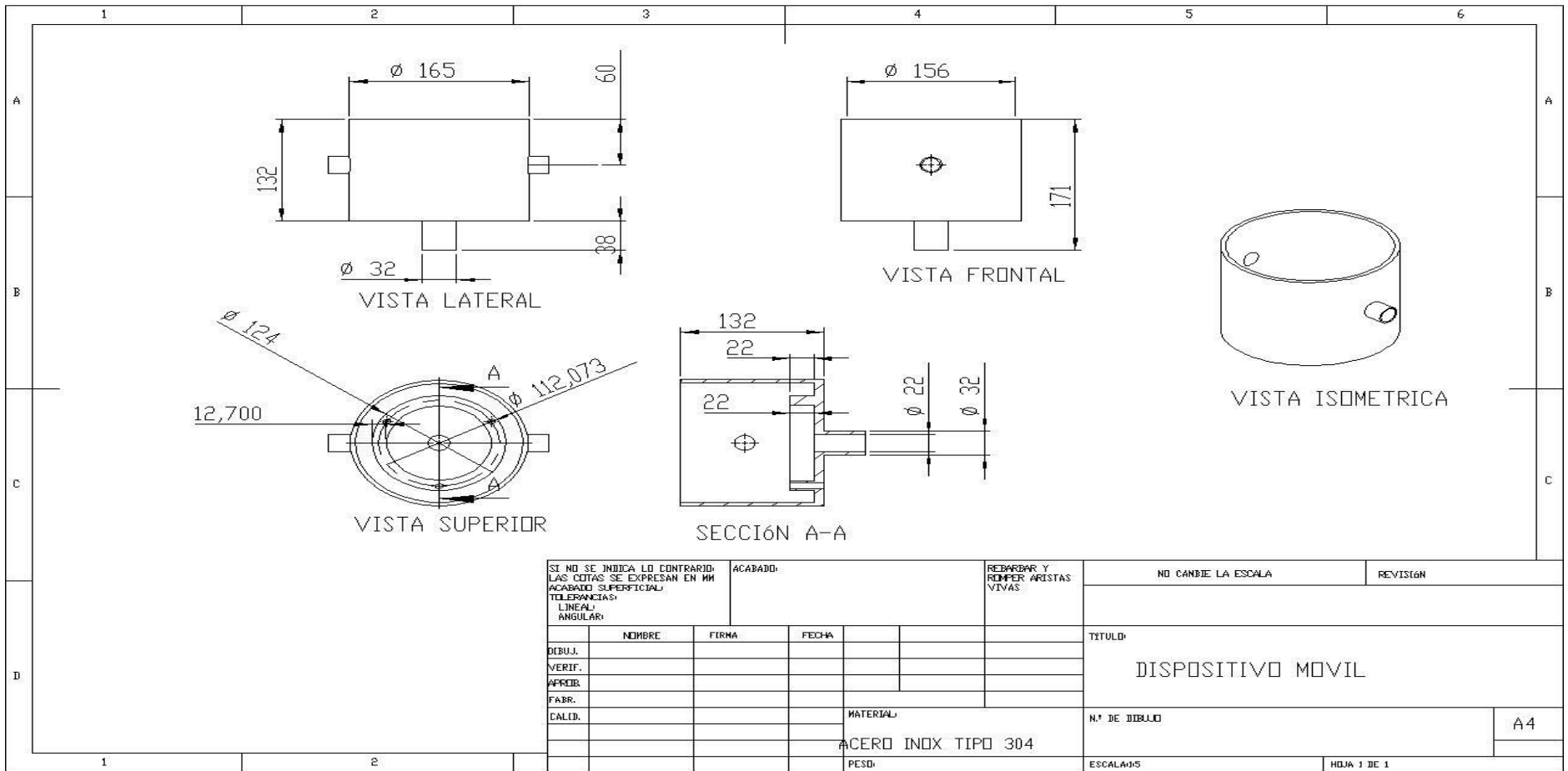




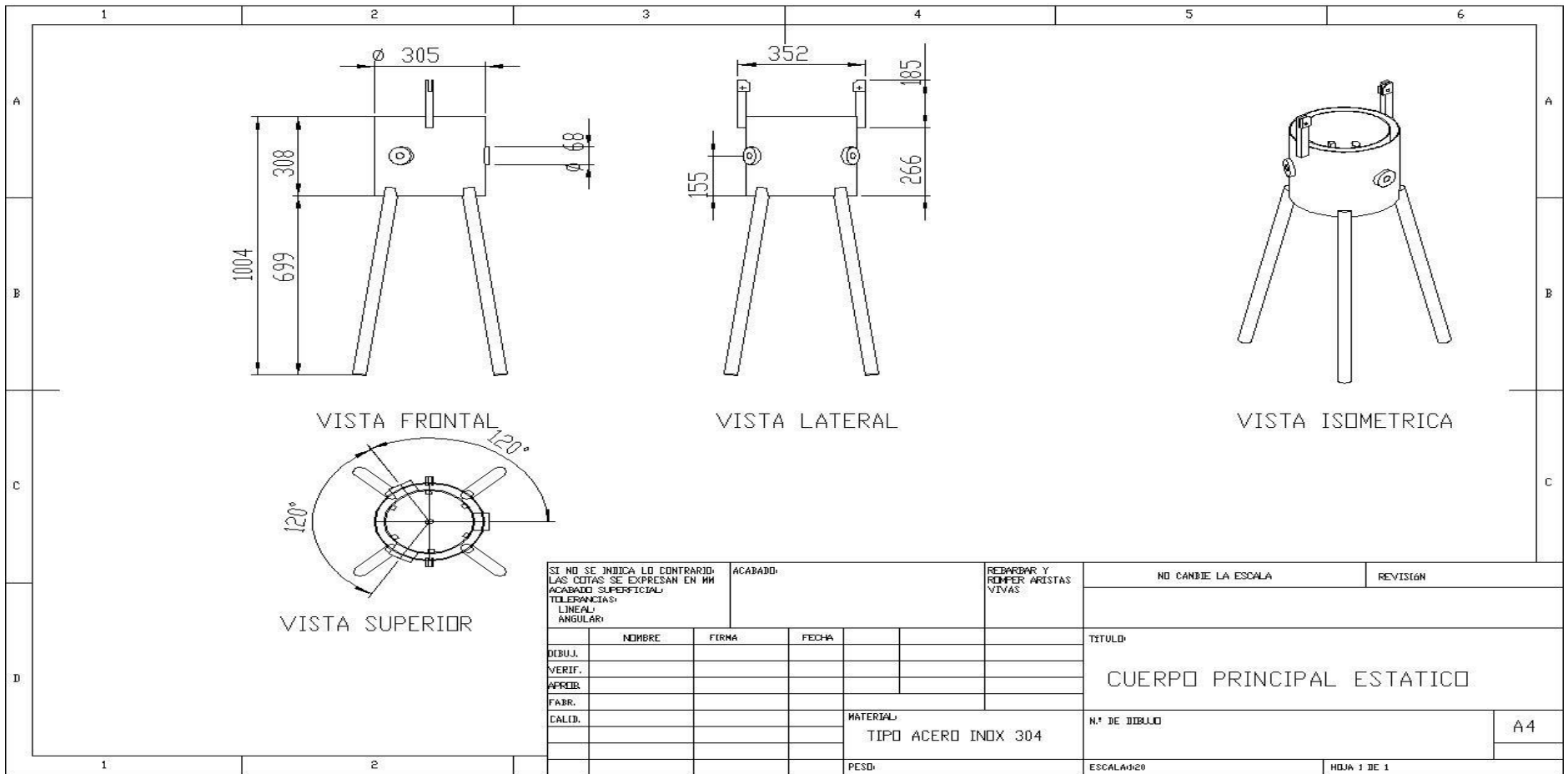
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO, LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM				ACABADO:		REBARBAR Y REDONDEAR ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
TOLERANCIAS: LINEAL ANGULAR								TÍTULO:			
								COJINETE DE DESLIZAMIENTO BRONCE FOSFORICO			
DIBUJ.				NOMBRE		FIRMA		FECHA		N.º DE DIBUJO	
VERIF.										A4	
APROB.											
FABR.											
CALID.								MATERIAL:			
								BRONCE FOSFORICO REVESTIDO DE MAGNOLIA			
								PESO:		ESCALA: 1:2	
										HOJA 1 DE 1	



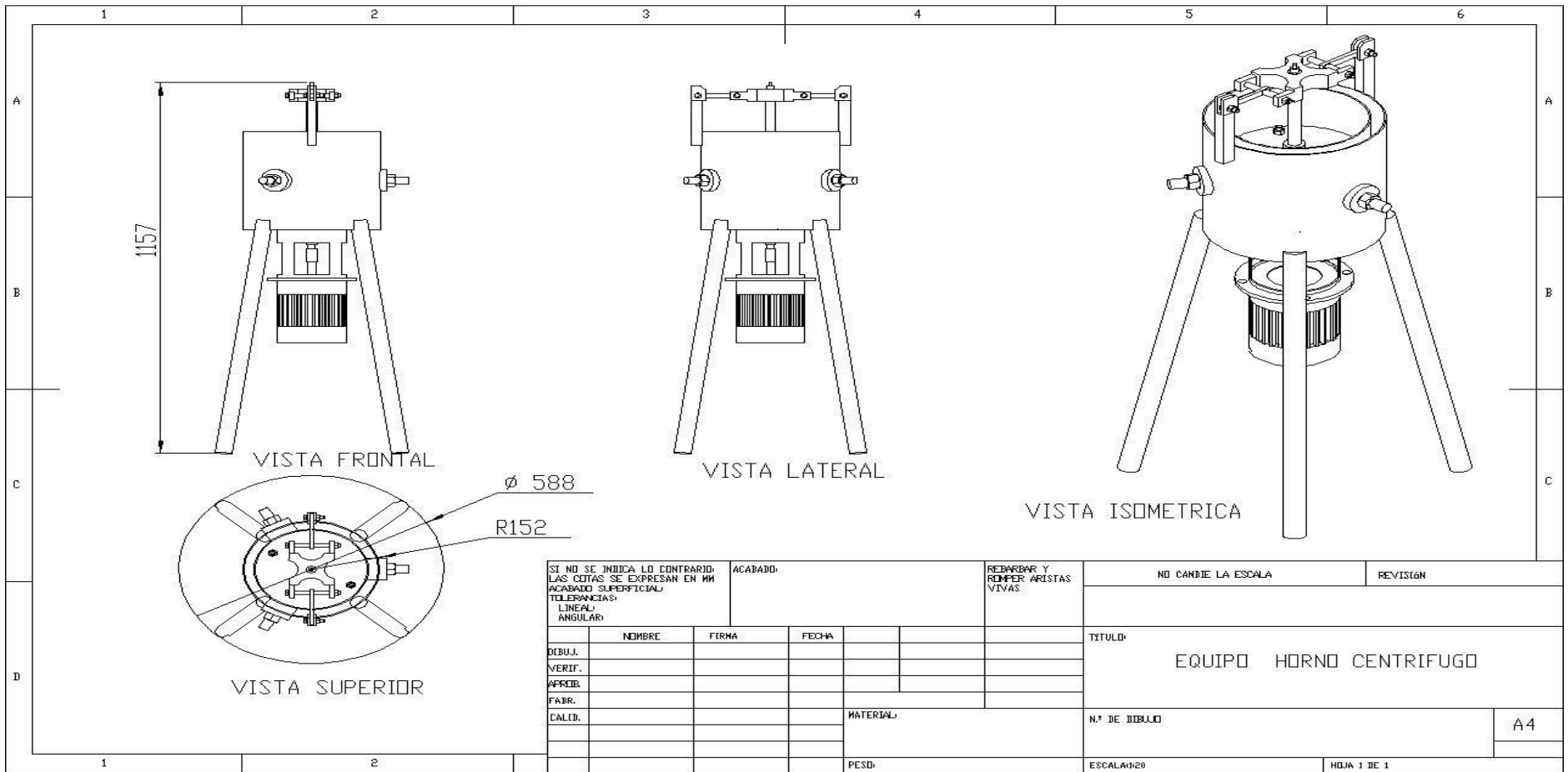
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO, LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM				ACABADO:		REBARBAR Y PONER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
TOLERANCIAS: LINEAL ANGULAR											
	NOMBRE	FIRMA	FECHA			TÍTULO:					
DEBUJ.	P. SALAZAR		11/7/12			SISTEMA DE SUJECCION					
VERIF.											
APROB.											
FABR.											
CALED.					MATERIAL:	N.º DE DIBUJO		A4			
					ACERO TIPO INOX 304						
					PESO:	ESCALA: 1:2		HOJA 1 DE 1			

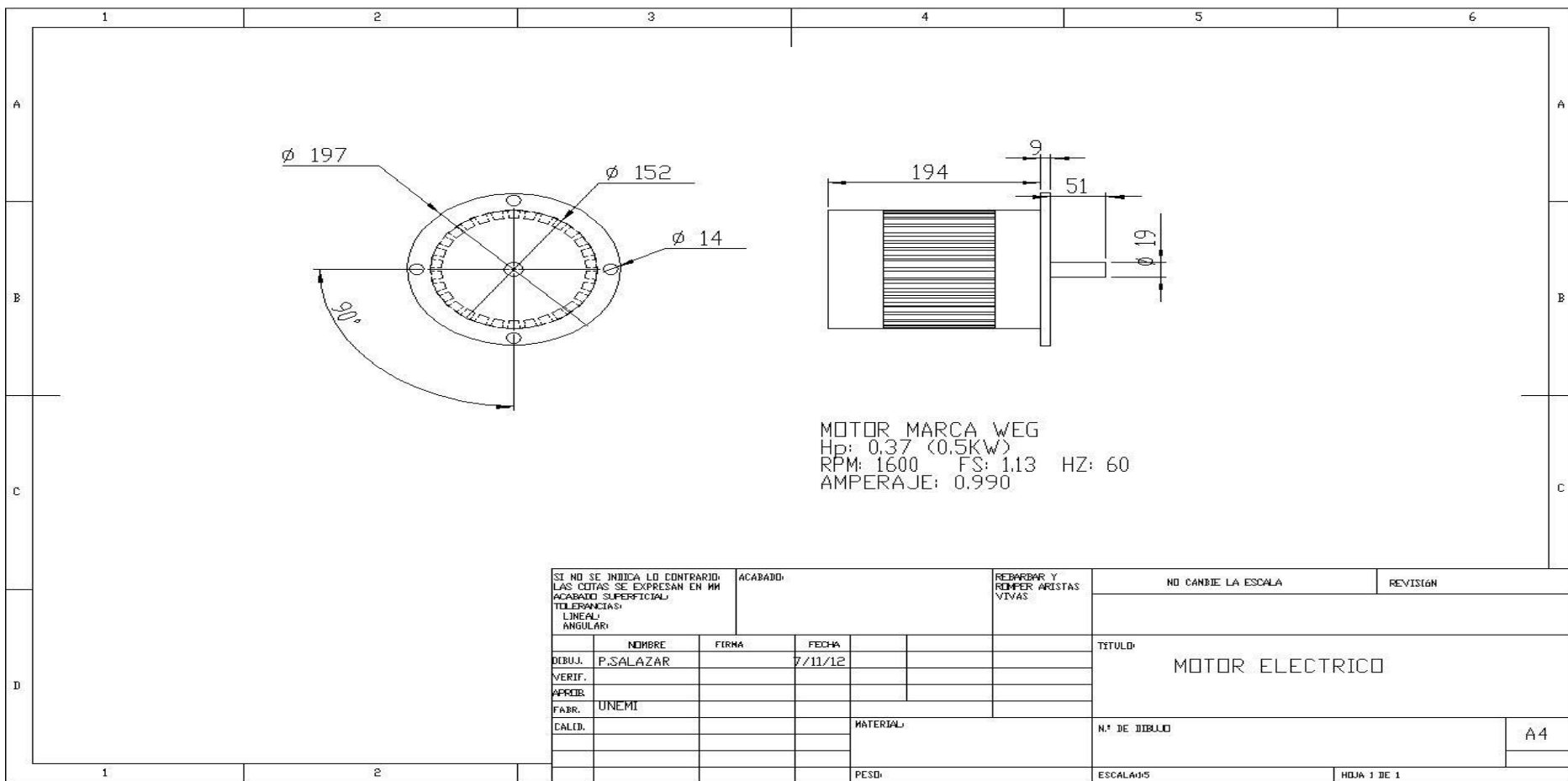


SI NO SE INDICA LO CONTRARIO, LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL ANGULAR:				ACABADO:	REPARAR Y REFOR. ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISI6N
DEBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA			TITULO: DISPOSITIVO MOVIL	
VERIF.						N.º DE DIBUJO	A4
APROB.					MATERIAL: ACERO INOX TIPO 304	ESCALA: 1:1	HOJA 1 DE 1
FABR.					PESO:		
VALID.							



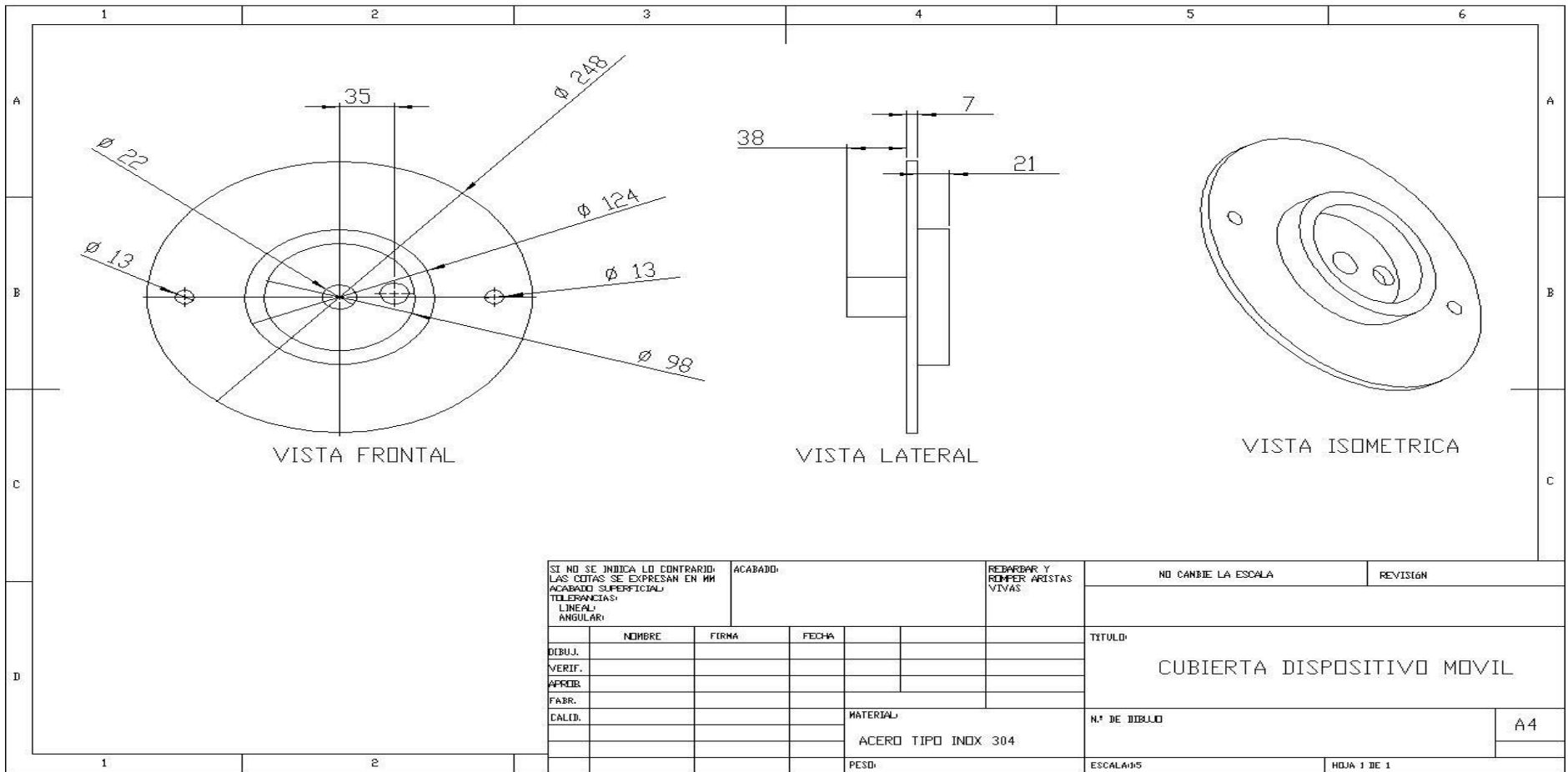
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM				ACABADO:		REBARBAR Y REDER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
ACABADO SUPERFICIAL:								TITULO: CUERPO PRINCIPAL ESTATICO			
TOLERANCIAS:											
LINEAL:								N.º DE DIBUJO			
ANGULAR:											
DIBUJ.		NOMBRE		FIRMA		FECHA		MATERIAL: TIPO ACERO INOX 304			
VERIF.											
APROB.								N.º DE DIBUJO			
FABR.											
CALIB.								A4			
						PESO:		ESCALA: 1:20		HOJA 1 DE 1	





MOTOR MARCA WEG
 Hp: 0,37 (0,5KW)
 RPM: 1600 FS: 1,13 HZ: 60
 AMPERAJE: 0,990

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:	REBARBAR Y REDIFER. ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
NO. DE DIBUJO	NOMBRE	FIRMA	FECHA		TITULO: MOTOR ELECTRICO	
DIBUJ.	P.SALAZAR		7/11/12			
VERIF.						
APROB.						
FABR.	UNEMI					
CALED.				MATERIAL:	N.º DE DIBUJO	A4
				PESO:	ESCALA: 5	HOJA 1 DE 1



MAQUINA DE FUNDICIÓN CENTRIFUGA.

