

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA

AZUCARERA EL VIEJO S.A.

PROYECTO DE DISEÑO

MONTAJE DE UNA TURBINA A VAPOR CONTROLADA MEDIANTE UN
GOBERNADOR ELECTRÓNICO WOODWARD PARA UNA TURBO-BOMBA.

PROYECTO ADMINISTRATIVO

MANUAL DE PASOS DE ARRANQUE Y PARE DE UN TURBO-GENERADOR
PARA LA COGENERACIÓN DE ELECTRICIDAD PARA EL INGENIO EL VIEJO.

INFORME DE LA PRACTICA DE ESPECIALIDAD PARA OPTAR POR EL GRADO
DE BACHILLERATO EN INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA

JUAN MANUEL ROMERO CASTELLÓN

-CARTAGO-

-JUNIO 2006-

PROFESOR GUÍA

Ing. ARTURO CÉSPEDES RUIZ

ASESOR INDUSTRIAL

Ing. GRAVEN QUESADA KAVER

TRIBUNAL EXAMINADOR

Ing. FERNANDO PINTO

Ing. GREIVIN BARAHONA

Ing. GUILLERMO RODRÍGUEZ

DEDICATORIA

A mis padres, Manuel Romero y Leda Castellón, que tanto me han apoyado durante todas las etapas de mi vida.

A mis dos hermanas, Rosa Irene y María Soledad, quienes necesitan el ejemplo para seguir adelante en el estudio y demostrar que esta es la mejor herencia que nos pueden dar nuestros padres.

AGRADECIMIENTO.

Primero que todo a Dios por ser mi guía espiritual y mantenerme con salud para salir adelante con los quehaceres diarios.

A todo el personal docente y administrativo del Instituto Tecnológico de Costa Rica, quienes con su sabiduría y vocación me han enseñado y formado profesionalmente para contribuir en el desarrollo de mi país.

A Azucarera El Viejo S.A., por proporcionarme la oportunidad de hacer mi Práctica de Especialidad en esta empresa tan exitosa a nivel nacional e internacional.

Al M.B.A. Marvin Alfaro Rojas, Ing. Graven Quesada y el señor colaborador especial de la empresa Manuel Gómez, y demás ingenieros por darme su confianza y transmitirme conocimientos prácticos y consejos profesionales para comenzar una nueva etapa de mi vida.

A mis amigos y compañeros que tanto compartimos a lo largo de este tiempo universitario.

A ti te quiero mucho.

A todos muchas gracias.

PENSAMIENTO.

“Nunca consideres el estudio como una obligación, sino como una oportunidad para penetrar en el bello y maravilloso mundo del saber.”

Albert Einstein

SUMMARY.

“El Viejo S.A.” is an enterprise dedicated to the extraction of sugar cane. The process involved the following areas: Milling department, Steam Production department, Fabric department, Electricity department, Maintenance department. In addition each section has an Engineer responsible for each working area. Even though all the process is oriented by the Industrial Supervisor Ing. Marvin Alfaro Rojas, MBA.

The area where I'm currently doing the practice is in Steam Production.

At this moment, the enterprise is building the boiler #4, the biggest and the highest capacity in Costa Rica 6.40*6.70*22.86 meters by this means my first design project has been originated which consist in the selection and put the turbine to work that may go according to the boiler regulations, is important to have two different systems of injection of water, two pumps are going to work with electric engine, and the other pump with the turbine that works with steam.

With the administrative project I'm going to prepare a booklet to start and shut down of the turbo-generator #1, which is used in the enterprise to supply the electrical necessities, because it has at least 600 engines that go between 120 and 4160 Volt, during the sugar cane harvest everything should be put to function.

Turbo-generator are delicate and of great inversion machines, in the enterprise that's why is important to emphasize both in the starting as well its shut down hours.

This implies a strict and established procedure by the personal of the company, that's why is not exempt from any complication before and after and the equipment because an error or a missing detail a procedure which is the second project of this firm.

CAPÍTULO I	
1.1 TABLA DE CONTENIDOS	7
1.2 TABLA DE FIGURAS, FOTOGRAFÍAS Y DIAGRAMAS	10
CAPÍTULO II	
2.1 RESUMEN	12
CAPÍTULO III	
3.1 INTRODUCCIÓN	15
CAPÍTULO IV	
4.1 ASPECTOS GENERALES DE LA EMPRESA	21
4.2 MISIÓN DE LA EMPRESA	21
4.3 VISIÓN DE LA EMPRESA	21
4.4 VALORES DE LA EMPRESA	21
4.5 PERFIL DE LA EMPRESA	22
4.6 ESTRUCTURA ORGANIZATIVA GENERAL	29
4.7 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE AZÚCAR	31
CAPÍTULO V	
5.1 LA FUNCIÓN DEL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO	39
5.2 ESTRUCTURA DEL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO	40
CAPÍTULO VI	
6.1 OBJETIVO GENERAL	42
6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	42
CAPÍTULO VII	
7.1 SITUACIÓN ACTUAL	44

CAPÍTULO VIII

8.1 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	65
8.2 ¿QUÉ ES UN GOBERNADOR?	72
8.3 VELOCIDAD DE REFERENCIA DESEADA	72
8.4 MEDICIÓN DE VELOCIDAD	73
8.5 COMPARACIÓN DE LAS VELOCIDADES	74
8.6 VARIACIÓN DEL COMBUSTIBLE PARA LA MÁQUINA	74
8.7 MODOS DE ESTABILIZAR LA TURBINA	75
8.8 VELOCIDAD, POTENCIA DE SALIDA Y CARGA	75
8.9 TURBINA A VAPOR	75
8.10 TURBINAS DE UN SOLO PASO	77
8.11 FUNCIÓN Y OPERACIÓN DE LAS PARTES DE LA TURBINA DE UN SOLO PASO	79
8.12 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE DISPARO	80
8.13 SISTEMAS DE LUBRICACIÓN	81
8.14 TURBINAS DE PASOS MÚLTIPLES	82
8.15 GOBERNADORES	83
8.16 EFICIENCIA DE TURBINAS	84
8.17 RAZONES QUE JUSTIFICAN EL USO DE LAS TURBINAS A VAPOR	84
8.18 TRAMPA DE VAPOR	87

CAPÍTULO IX

9.1 RECOMENDACIONES	90
---------------------	----

CAPÍTULO X

10.1 CONCLUSIONES	92
-------------------	----

CAPÍTULO XI

11.1 OBJETIVO GENERAL	95
11.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	95

CAPÍTULO XII	
12.1 SITUACIÓN ACTUAL	97
CAPÍTULO XIII	
13.1 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	103
13.2 APLICACIONES DE LA TURBINA A VAPOR	105
CAPÍTULO XIV	
14.1 RECOMENDACIONES	113
CAPÍTULO XV	
15.1 CONCLUSIONES	116
CAPÍTULO XVI	
16.1 BIBLIOGRAFÍA	119
CAPÍTULO XVII	
17.1 APÉNDICES Y ANEXOS	121

1.2 TABLA DE FIGURAS, FOTOGRAFÍAS Y DIAGRAMAS.

FIGURAS.

4.1 ORGANIGRAMA GENERAL DE AZUCARERA EL VIEJO S.A.	30
5.1 ESTRUCTURA DEL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO	40
7.1 ESPECIFICACIONES Y PARTICULARIDADES DE LA TRAMPA DE VAPOR	50
8.1 REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LOS DIFERENTES TIPOS DE TURBINAS	78
8.2 PARTES QUE COMPONEN UNA TURBINA DE VAPOR	80
8.3 SECCIÓN DE UN SISTEMA DE DISPARO POR SOBREVELOCIDAD PARA TURBINAS	81
8.4 VISTA DEL FUNCIONAMIENTO DE LA TRAMPA DE VAPOR	88

FOTOGRAFÍAS.

7.1 TURBINA DE SEGUNDA MANO	45
7.2 TRAMPA DE VAPOR RECOMENDADA	49
7.3 INSTALACIÓN DE LA TUBERÍA EN EL CABEZAL DE LOS DEAIREADORES	54
7.4 COPLIN CONTADOR, PICK-UP Y CABLE APANTALLADO UTILIZADOS	55
7.5 PANEL DE CONTROL DEL GOBERNADOR ELECTRÓNICO PEAK 150	56
7.6 VÁLVULA CONTROLADORA DE ENTRADA DE VAPOR	58
7.7 CONVERTIDOR ELECTRO-NEUMÁTICO	59
7.8 SISTEMA DE ENFRIAMIENTO EXTERNO	62
7.9 INSTALACIÓN COMPLETA DE TURBINA	63
8.1 BOMBA SELECCIONADA	68
12.1 MANTENIMIENTO DEL TURBO-GENERADOR # 1.	99

DIAGRAMAS.

7.1 PROGRAMA DE MANEJO TURBINA MANUAL O AUTOMÁTICA	60
12.1 DIAGRAMA DE TUBERÍAS DE ENFRIAMIENTO DE LOS TURBO- GENERADORES	101

CAPÍTULO II
RESUMEN.

2.1 RESUMEN.

Azucarera El Viejo S.A. es una empresa dedicada a la extracción de azúcar. El proceso comprende las siguientes áreas : Departamento de Molinos, Departamento de Producción de Vapor, Fábrica, Departamento de Electricidad y Departamento de Mantenimiento, además, cada sección tiene un ingeniero responsable de área por motivo del trabajo tan importante que se lleva a cabo. Sin embargo, todo el proceso está dirigido por el Superintendente Industrial MBA. Marvin Alfaro Rojas.

El área donde actualmente estoy realizando la práctica es en la de cogeneración de vapor.

En este momento, la empresa está construyendo la caldera #4, la más grande y de mayor capacidad en Costa Rica, 6.40 * 6.70 *22.86 metros, (21*22*75 pies), a raíz de ésta es que surge mi primer proyecto de diseño que consiste en seleccionar y poner a trabajar una turbina que vaya acorde con las especificaciones de la caldera, según el reglamento de calderas, principalmente tener dos sistemas diferentes de inyección de agua, dos van a ser mediante motores eléctricos la otra será la bomba que funciona con la turbina que trabaja con vapor.

Con el proyecto administrativo haré el Manual de Pasos para el arranque y pare del turbo-generador #1, el cual es utilizado en la empresa para suplir sus necesidades eléctricas porque cuenta con 600 motores que van entre 120 y 4160 Volt y en tiempo de operación deben ponerse a funcionar todos.

Los turbo-generadores son máquinas de mucho cuidado y de alta inversión en la empresa, por lo que se les debe poner mucho énfasis tanto a la hora de la puesta en marcha como a la hora de su parada, esto conlleva tener un procedimiento riguroso y establecido por la manipulación que hace el personal de la empresa, por lo tanto, no está exento de tener complicación antes o después y podría ser que se dañe el equipo por error, porque se olvidó algún detalle o por falta de un procedimiento adecuado lo cual es un próximo proyecto en esta empresa.

La metodología aplicada para el proyecto de diseño es:

- a. Desarme de la turbina para ver su estado y luego determinar los cambios prudentes que se le puedan hacer a ella.
- b. Montaje de la turbina y correcto alineamiento. Coordinar con los técnicos de la empresa.
- c. Idear el sistema más conveniente para la lubricación forzada y obligatoria de los bearings de la bomba.
- d. Montaje de la tubería de enfriamiento del aceite de lubricación.
- e. Montaje del gobernador electrónico Woodward¹.
- f. Prueba del sistema de inyección de agua a la caldera # 4.

Para el segundo proyecto, la metodología que se empleó fue la siguiente:

- a. Desarme completo del turbo-generador para darle su respectivo mantenimiento.
- b. Levantamiento de los planos del sistema de enfriamiento en aceite y del turbo-generador.
- c. Recolección de información para saber las debilidades y fortalezas del turbo-generador.
- d. Hacer el Manual de Pasos de arranque y pare del turbo-generador.
- e. Ultimar las mejoras recomendadas del equipo técnico y por el colaborador especial de la empresa: el señor Manuel Gómez.

¹ Marca de los gobernadores utilizados en la empresa.

CAPÍTULO III
INTRODUCCIÓN.

3.1 INTRODUCCIÓN.

Dado el gran auge que ha tenido últimamente el cultivo y la industrialización de la caña de azúcar, los ingenios nacionales e internacionales se han dado a la tarea de realizar nuevas infraestructuras, para que sus labores diarias sean más prácticas y eficientes y vayan de la mano con un medio ambiente sostenible, y lograr el mayor rendimiento posible en la extracción de azúcar que es uno de los productos finales .

Dada la demanda de electricidad en la década de los 90, bajo la ley 7200 de Cogeneración de Electricidad: ARTICULO 3.- Interés público.

“Se declara de interés público la compra de electricidad, por parte del ICE, a las cooperativas y a las empresas privadas en las cuales, por lo menos el treinta y cinco por ciento (35%) del capital social pertenezca a costarricenses, que establezcan centrales eléctricas de capacidad limitada para explotar el potencial hidráulico en pequeña escala y de fuentes de energía que no sean convencionales. (Así reformado por el artículo 2º de la ley No.7508 del 9 de mayo de 1995 y modificado por Resolución de la Sala Constitucional N° 6556-95 de las 17:24 horas del 28 de noviembre de 1995, que anuló su última frase.)”²

Azucarera el Viejo S.A. fue la primera empresa a nivel nacional que vendió energía eléctrica al Instituto Costarricense de Electricidad, bajo la red de distribución de energía a Guanacaste por medio de la CoopeGuanacaste R.L.³

² Ley 7200 LA ASAMBLEA LEGISLATIVA DE LA REPUBLICA DE COSTA RICA DECRETA: LEY QUE AUTORIZA LA GENERACIÓN ELÉCTRICA AUTÓNOMA O PARALELA.

³ Cooperativa suplidora de energía eléctrica en la provincia de Guanacaste.

La empresa utilizaba los recursos con los que contaba en ese entonces, y vio muy práctico y a la vez bien remunerado, de parte del gobierno, la venta de energía que ellos producían por medio de los turbo-generadores los cuales trabajan con una presión de 27.57 bar (400 psi) y su principio es el siguiente: “Por medio de las calderas obtenían un flujo de vapor, este vapor ejerce un trabajo el cual, por medio de la energía térmica se transforma en energía cinética en las toberas de las turbinas, luego ésta transmitiendo subsecuentemente el par motriz al eje por medio de las paletas de las turbinas en energía mecánica, y por último este trabajo mecánico actúa sobre los campos magnéticos que están presentes en el generador generados por medio de una excitatriz piloto y debido al movimiento constante del rotor se produce un flujo de corriente para suplir energía eléctrica para ser utilizada”.⁴

A raíz de esto, la empresa hizo una fuerte inversión en el ingenio y compra, de segunda mano, una caldera en Misissippi- Estados Unidos, que es trasladada a Costa Rica.

En julio del 2004 empieza la instalación de la caldera en Azucarera el Viejo S.A., teniendo en cuenta todos los aspectos que conlleva la construcción de una caldera con magnitudes de trabajo a 62.05 bar (900psi), la cual es la más grande y de mayor capacidad a nivel nacional clasificándose esta caldera según el reglamento de calderas del 2 de abril de 1998 como una de categoría A, lo cual dice: “aquellas calderas que generen más de 7500 Kg/hora de vapor o que tengan una superficie de calefacción mayor de 200 metros cuadrados, cualesquiera de los valores que sea mayor”.⁵

⁴ Tomado del libro Centrales Eléctricas. Frederick T. Morse M. 1984.

⁵ Tomado del Reglamento de calderas, decreto 26789 y sus reformas.

Dada la legislación de nuestro país, cabe destacar que la caldera es la única máquina de operación industrial que debe obedecer con una serie de especificaciones para poder entrar en funcionamiento, y debe ser revisada por los inspectores de calderas acreditados por el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica.

Teniendo en cuenta todas las especificaciones anteriores, uno de los objetivos que se debe cumplir para efectos de realización de este proyecto, según el Reglamento de Calderas debe contar a lo sumo con dos sistemas diferentes de inyección de agua a la caldera. La empresa se vio en la necesidad de poner en funcionamiento tres bombas de inyección de agua de 63.09 litros/segundo (1000 gal / min) cada una, quedando la bomba # 1 y # 2 con motor y la bomba # 3 con una turbina.

Otro de los objetivos es el montaje correcto y la buena alineación para darle el ensamblaje necesario por medio de un acople entre el eje de la turbina y el eje de la bomba, esto es muy importante porque si no se da una buena alineación los ejes pueden quedar desalineados, crear una vibración y como consecuencia dañar las máquinas, lo cual podría ser fatal para el equipo que trabajaría a unas 3600 rpm, durante aproximadamente 130 días continuos.

Hay que tener en cuenta que estos equipos, tanto la bomba como la turbina, al trabajar a tan altas velocidades están montadas sobre chumaceras de antifricción de babbitt, el cual es un metal que tiene una temperatura de fundición muy baja, unos 90 °C .Es imprescindible una buena lubricación y con estas cargas de trabajo se coloca un intercambiador de calor (enfriador de aceite) para garantizar una baja temperatura y una buena presión de aceite presente en las chumaceras de los equipos, conjuntamente se recomienda adaptarle a la bomba un sistema de lubricación forzado para garantizarse que le llegue suficiente aceite a los bearings.

El objetivo primordial es el nuevo sistema de gobernación porque maneja la cantidad de vapor que va a entrar en la turbina, la empresa tiene varios gobernadores Woodward, pero son mecánicos y el principio de funcionamiento es diferente.

Los gobernadores mecánicos buscan una estabilidad en la presión interna del equipo, pero al percibir una variación en la velocidad centrífuga crea un diferencial de presión dentro del gobernador, este manda a abrir o cerrar la válvula de alimentación de vapor para conservar la presión constante. De dicho trabajo se encargan las contrapesas, situadas en la parte superior del gobernador.

Se implementará en esta turbina un gobernador electrónico, el cual sensa la velocidad a la que está girando el eje por medio de un pick-up, lo cual significa un gran reto, tanto para los ingenieros como para mi persona, ya que este cambio en el sistema de gobernación sería el primero que se implementaría en la empresa.

El proyecto administrativo consistió en un estudio generalizado al turbo-generador # 1 y luego confeccionar un Manual de Pasos de arranque y pare.

En la empresa hay tres turbo-generadores, el # 1 y # 2 fueron adquiridos en el año de 1988 en Hanibal Missouri y puestos en funcionamiento un año después. El turbo-generador # 3 fue comprado en Main Estados Unidos en el año de 1994 y puesto a funcionar en 1995. Tienen las siguientes características:

Turbo-generador # 1.

Este turbo-generador condensador es el más eficiente porque aprovecha al máximo el vapor que entra a 27.57 bar (400 psi). No tiene presión de escape al poseer un sistema de enfriamiento propio que condensa completamente el vapor que le entra. Por medio de una bomba es transportado hacia un tanque de recolección de condensados generales de las calderas. Tiene una capacidad para 7500 KW.

Turbo-generador # 2.

Actualmente este turbo-generador no está en funcionamiento porque trabaja con 41.36 bar (600 psi) y en la empresa la caldera # 1 y #2 están para trabajar a 13.78 bar (200 psi). La caldera #3 produce vapor a 27.57 bar (400psi), por tal motivo se está construyendo la caldera #4 que trabajaría a la presión requerida por este turbo-generador. Su capacidad es de 5000 KW.

Turbo-generador # 3.

Este turbo-generador es el que suple las necesidades de la empresa ya que con él se arrancan todos los motores que se ocupan para el buen funcionamiento de la industria. Hay que tener un cuidado especial para que la frecuencia no esté oscilando porque podría dañar los motores que están conectados a esta línea de potencia. Este turbo trabaja a 27.57 bar (400 psi). Tiene una capacidad de 5000 KW.

CAPÍTULO IV
ASPECTOS GENERALES DE LA EMPRESA.

4.1 ASPECTOS GENERALES DE LA EMPRESA.

4.2 MISIÓN DE LA EMPRESA.

“Estamos comprometidos en producir azúcar de alta calidad para nuestros clientes, haciendo las cosas mejor cada día tanto en lo grande como en lo pequeño, estableciendo nuevos parámetros de excelencia para la agroindustria azucarera.”

4.3 VISIÓN DE LA EMPRESA.

“Azucarera El Viejo S.A será una empresa agroindustrial, dedicada a la producción e industrialización de la caña de azúcar y a la comercialización del azúcar y sus derivados, así como la diversificación de otras actividades.”

4.4 VALORES DE LA EMPRESA.

- a. Excelencia: Búsqueda permanente de hacer todo lo que hacemos cada día mejor.
- b. Responsabilidad: Cada derecho implica una responsabilidad, cada oportunidad una obligación y cada posesión un deber.
- c. Respeto: Consiste en tratar a los demás justo como a usted le gustaría ser tratado.
- d. Lealtad: Preocuparse tanto por el personal, la empresa y sus clientes así como por mantener nuestros compromisos mutuos.

4.5 PERFIL DE LA EMPRESA.

Azucarera El Viejo S.A. es una empresa agroindustrial dedicada a la producción y procesamiento de la caña de azúcar, para la obtención de azúcar como producto principal.

La empresa se encuentra ubicada en La Guinea-Filadelfia, cantón de Carrillo, provincia de Guanacaste. Como empresa agroindustrial se cuenta con una propiedad de 7 000 hectáreas, de las cuales 5 000 hectáreas están dedicadas al cultivo de la caña de azúcar. El ingenio o planta procesadora tiene una capacidad de molienda de 5 500 toneladas por día. En los últimos dos años se ha procesado un promedio de 600 000 toneladas anuales, ubicando a la empresa en un segundo lugar de la producción nacional.

La materia prima utilizada en el proceso proviene de plantaciones propias (70%) y cerca de 250.000 toneladas son compradas a productores o empresas de la zona de influencia del ingenio. Como resultado principal del proceso de molienda de la caña de azúcar, se obtienen tres tipos de producto terminado:

Azúcar blanco de plantación, en presentación de 50 Kg.

Azúcar blanco especial a 150 ICUMSA⁶ de color en presentación de 50 Kg.

Azúcar a granel (azúcar crudo).

Durante el proceso de elaboración del azúcar también se generan algunos subproductos que son aprovechados en diversas formas. Dentro de los más relevantes se tienen los siguientes:

⁶ Escala de color por International Council Unified Methods of Sugar Analysis (Concilio Internacional de Métodos Unificados de Azúcar).

- a. Bagazo: se aprovecha como combustible para calderas, las cuales producen vapor que al ser pasado por generadores originan electricidad. De esta forma se realiza una transformación de un material vegetal a energía térmica y luego a energía eléctrica.

La electricidad producida de esta forma es auto utilizada en las operaciones industriales y agrícolas de la empresa. Además, se construyó una planta en la que se espera aprovechar el bagazo sobrante como materia prima para alimento de ganado, con otro subproducto de la zona como es la estopa de la naranja que con una fórmula se convierte en fuente energética animal.

- b. Miel final: La miel final es vendida para ser utilizada en la producción de alimento animal o como suplemento alimentario de los mismos. Se cuenta con una planta procesadora que da un valor agregado a la miel final enriqueciéndola con proteínas para suplemento líquido para el ganado, también es utilizada en el proceso para la fabricación de alcoholes.

Con las cantidades de materia prima procesada en los últimos años, la planta ha alcanzado un 80% de utilización de la capacidad instalada. Durante la zafra 2003-2004 se produjo un total de 122 000 bultos (61 010 toneladas de azúcar), cifra récord para Azucarera El Viejo S.A..

Azucarera El Viejo S.A., también, brinda servicios agrícolas y administrativos a otras empresas y/o productores de caña de azúcar. Dentro de los servicios más comunes se tienen:

- a. La corta, alza y acarreo de la caña de azúcar hacia el ingenio.

- b. Asistencia técnica para productores o empresas productoras de azúcar.
- c. Servicios de maquinaria agrícola como: nivelación y siembra de terrenos para el cultivo de la caña de azúcar.
- d. Financiación de insumos agrícolas (abono, herbicidas, etc) para el mantenimiento de plantaciones.

La operación de la empresa presenta dos épocas muy bien definidas, como lo son: la temporada de cosecha y procesamiento de la caña conocida como zafra activa, la cual se da en el período de diciembre a abril. La otra época es conocida como zafra inactiva y se caracteriza por ser la temporada de reparación y mantenimiento preventivo de la industria y equipo, así como el mantenimiento de las plantaciones, esta temporada comprende los meses de mayo a noviembre.

Durante la temporada de zafra la operación es continua durante las 24 horas del día y todos los días de la semana. Esto contrasta con la temporada de mantenimiento en donde se opera solamente 48 horas semanales, tiempo necesario para la ejecución de las labores de mantenimiento. Estas dos temporadas coinciden con las dos estaciones climatológicas que presenta el país, la época seca y la época lluviosa, respectivamente.

El azúcar es uno de los productos que está registrado como “commodity”⁷ en la bolsa de valores agrícolas de Nueva York, Estados Unidos, de aquí que el mercado al cual se vende el azúcar producido por Azucarera El Viejo S.A. puede ser para exportación o bien para consumo nacional.

⁷ Descripción en la comercialización de productos utilizados como materias primas.

No obstante, en Costa Rica la comercialización del azúcar se realiza por intervención de La Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar (LAICA), convirtiendo a LAICA como el único cliente directo que posee Azucarera El Viejo S.A. en materia de azúcar y mieles.

La Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar (LAICA), nace en 1946 como una unión de esfuerzos de los sectores agrícola e industrial. LAICA, como órgano de unión y coordinación dicta las políticas de comercialización de toda el azúcar y mieles producidos en el país y es ésta la que decide si el mercado es de exportación o nacional y la que está en relación directa con los consumidores finales del producto o productos.

En términos generales, se puede establecer que los principales clientes de LAICA (indirectamente de Azucarera El Viejo S.A.) es el sector alimentario en sus diversos subsectores. Se pueden citar algunos de ellos a manera de ejemplos genéricos: producción de bebidas gaseosas y naturales, repostería, confitería, licores, alcoholes, subproductos lácteos, alimentos enlatados, etc. Cabe mencionar que el azúcar forma parte de la canasta básica de Costa Rica y por ende es un producto de consumo masivo.

En lo referente a los otros productos y servicios que brinda Azucarera El Viejo S.A., se puede afirmar que el mercado al cual se satisface es de tipo nacional con énfasis en la región del cantón de Carrillo, Bagaces y Santa Cruz, tal es el caso de los servicios de asistencia técnica o financiación a los productores de caña particulares.

Azucarera El Viejo S.A., como empresa agroindustrial está integrada verticalmente en la cadena productiva. De esta forma la empresa se organiza en cinco áreas funcionales que son: Área Agrícola, Área de Maquinaria Agrícola, Área Industrial, Área Administrativo y Área Ambiental. Esta misma integración ha permitido establecer una estructura organizacional bastante sencilla.

Para el cumplimiento de los objetivos, Azucarera El Viejo S.A. actualmente tiene 307 colaboradores. Las labores administrativas, técnicas y profesionales de toda la empresa son ejecutadas por 97 funcionarios, mientras que 210 personas realizan los trabajos de operación y mantenimiento en las áreas industriales, agrícolas y de maquinaria, durante la zafra inactiva.

Cabe mencionar que por la característica de su operación, en la empresa se debe de contratar unas 250 personas temporales para la época de zafra activa. Además, para ésta misma época se requiere contar con el apoyo de unas 400 personas especializadas en la corta de la caña para realizar esta labor en las fincas de los productores particulares. Estos trabajadores son contratados por terceras personas con representación jurídica.

En Costa Rica la producción de azúcar se da en dieciséis Ingenios distribuidos en las siguiente zonas: siete en el Pacífico Central, tres en San Carlos, dos en Turrialba y cuatro en el Pacífico Seco. La zona del Pacífico Seco, a la cual pertenece la Empresa abarca el 63% de la producción nacional.

En 1946, después que los precios del azúcar se regían por la oferta y la demanda, el gobierno de Costa Rica por decreto crea LAICA como ente regulador del mercado azucarero para evitar el abuso y competencia desleal que se dio en el pasado. En 1998 se aprueba la ley constituyente de LAICA, y es la que rige actualmente.

Los puntos relevantes de la ley son:

La Junta Directiva de LAICA, debe estar conformada por representantes del sector gobierno, agrícola e industrial. Actualmente está formada por: El Ministro de Agricultura, el Ministro de Economía, tres representantes industriales y tres representantes de los productores de caña.

La distribución del valor del azúcar entre el industrial y el productor es: 62.5% para el productor y 37.5% para el industrial.

Para distribuir la producción nacional entre el mercado local y el mercado norteamericano se utiliza el sistema de cuotas, donde la definición de la cuota nacional equivale al consumo nacional del año inmediatamente anterior a fijar la cuota multiplicado por un factor fijo de 1.5.

Para asignar la participación de cada ingenio en la cuota nacional, se utiliza la cuota de referencia para cada uno, que de acuerdo con la nueva ley es el promedio de producción de las últimas cinco zafras.

Dentro de los convenios (alianzas) más relevantes de la Compañía se mencionan: la unión con los Ingenios de la zona de Guanacaste para la compra de insumos y otras necesidades del gremio mediante la creación de Guanazucar.

La Compañía ha venido creciendo constantemente y en una forma muy escalonada en los últimos diez años, donde ha incorporado a su actividad la utilización de nuevas tecnologías en las diferentes áreas como lo son: automatización de procesos industriales, producción de azúcar crudo y azúcar blanco simultáneamente, riego por goteo, cosecha y siembra mecanizada, fertilización líquida y cogeneración.

Con el propósito de lograr mayor competitividad, la empresa ha decidido implementar los sistemas de gestión, que le permitan obtener procesos y productos con una calidad uniforme y el establecimiento de controles ambientales, para el logro de estos objetivos se implementó el sistema de gestión de calidad basado en las normas ISO 9001 2000 y se está implementando el sistema de gestión ambiental basado en la norma ISO 14001.

Cabe destacar la labor que ha realizado la Empresa en los últimos cinco años para la conservación del medio ambiente, donde se han aplicado medidas para reducir el efecto que causan los desechos de la industria. Dentro del aporte al ambiente se destacan los siguientes:

- a. Control biológico.
- b. Mejoras significativas en el manejo de residuos industriales.
- c. Proyecto de creación de una reserva biológica privada.
- d. Restauración de humedales.
- e. Aprovechamiento de los subproductos (cachaza, bagazo y ceniza).

4.6 ESTRUCTURA ORGANIZATIVA GENERAL.

La estructura organizacional de Azucarera El Viejo S.A. está dictada por las distintas áreas de responsabilidad con que cuenta la empresa. De esta forma la autoridad superior de toda la organización se encuentra en la Junta Directiva, conformada por el presidente, vicepresidente, secretario y dos vocales. La Junta Directiva como órgano superior de la empresa recibe el apoyo de un cuerpo asesor-legal y un cuerpo de auditoría interna, tal y como se puede observar en la figura del organigrama general de Azucarera El Viejo S.A.

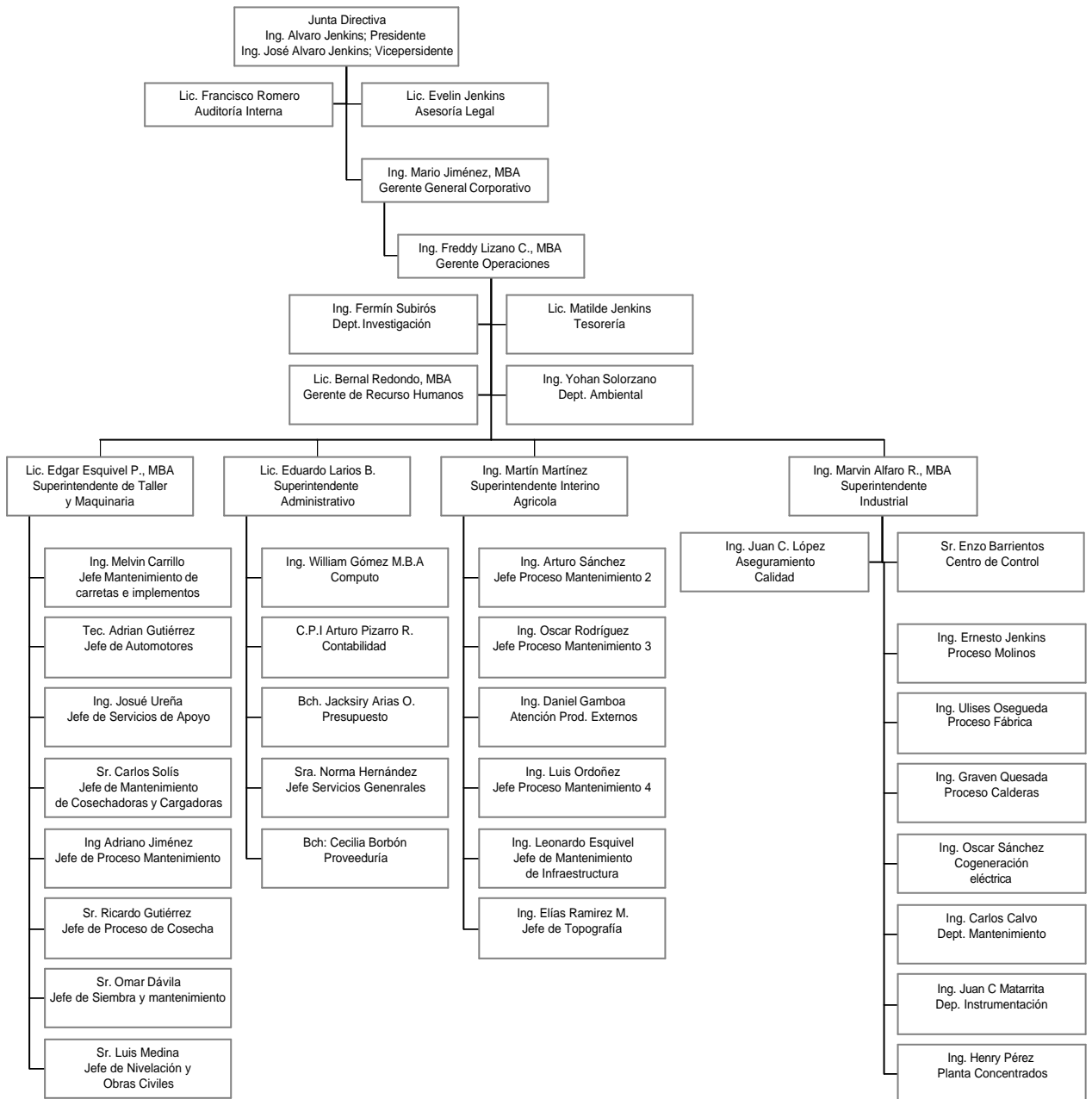


Figura 4.1 Organigrama General de Azucarera El Viejo S.A.

4.7 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE AZÚCAR.

El proceso para producir azúcar se logra por medio de una serie de subprocesos tanto dentro de ingenio como fuera de este, los que ocurren en el campo se pueden nombrar como: quema, corta, alza y acarreo de la caña hasta el ingenio.

El proceso de elaboración de azúcar en ingenio se puede dividir en los siguientes pasos:

a. Manipulación de la caña.

Este consiste en:

- Volteo de las carretas sobre las mesas de caña, éstas cuentan con tres grúas de volteo hidráulicas.

- Lavado de la caña en las mismas mesas, para eliminar desechos o suciedad que pueda venir con ella.

- Preparación de la caña: se logra mediante una precuchilla, una cuchilla picadora y una desfibradora, esto para obtener una fibra más fina que ayudará a la extracción de jugos en los molinos y mejorará la combustión en las calderas.

- Transporte de la caña hasta el primer molino. Se hace con tres conductores que están ubicados secuencialmente en el proceso.

b. Molienda.

Durante este proceso se extrae el máximo de jugo contenido en la caña, se logra con un molino de 1.9304 metros (76 pulgadas) y cinco molinos de 1.8288 metros (72 pulgadas), sometidos a una presión hidráulica para lograr la mayor extracción de sacarosa. Se realizan dos procesos: imbibición y maceración los cuales consisten en aplicar agua al jugo de caña para someterlo a presión nuevamente en el siguiente molino y así sucesivamente.

c. Generación de vapor.

El bagazo que sale de los molinos en la extracción del jugo al quemarse se aprovecha su energía calorífica en las calderas, las cuales convierten esta energía en vapor que sirve tanto para mover las turbinas de los molinos, precuchilla, desfibadora, cogeneración, turbo-bombas, cocción del jugo hasta la cristalización y secado del azúcar.

En las calderas se quema el bagazo con alta eficiencia y ayudado por dos ventiladores centrífugos, uno que inyecta aire a la caldera llamado abanico forzado y otro que se encarga de sacar los gases de la combustión a la chimenea llamado abanico inducido.

La empresa cuenta actualmente con tres calderas para hacer frente a las necesidades de vapor de la planta, las calderas #1y #2 tienen una presión de operación de 13.78 bar (200 psi), y una capacidad de 408 233.133 Kg/ hr (90 000 lbs/ hr) de vapor y la caldera #3 tiene una presión de operación de 27.57 bar (400 psi), y una capacidad de 90 718.474 Kg/hr (200 000 lbs/ hr) de vapor, además, una en construcción de 62.05 bar (900 psi).

d. **Generación de energía eléctrica.**

En este proceso el vapor producido por las calderas se inyecta a las turbinas de los generadores. Dentro de las turbinas de vapor choca contra los álabes o paletas de la turbina provocando un movimiento de giro, el cual se transmite al generador. El generador cuando recibe movimiento en su eje por inducción produce tensión en sus terminales, este proceso se controla por medio de los páneces.

Al conjunto turbina generador se le llama turbo-generador, el ingenio cuenta con tres: uno de 7500 KW y dos de 5000 KW.

La producción de energía eléctrica total del ingenio es de aproximadamente 11 000 KW, de los cuales 7 000 KW son de consumo propio y 4 000 KW se le venden a CoopeGunanacaste R.L como parte del proyecto de cogeneración eléctrica.

e. **Clarificación del jugo.**

El jugo saliente de los molinos entra al proceso de clarificación, el cual tiene el objetivo de eliminar del jugo todos los elementos indeseables o contaminantes. Este proceso se realiza mediante los siguientes pasos:

- **Sulfatación:** En este proceso se sulfita el jugo (inyecta azufre en forma gaseosa) para lograr un buen color en el azúcar y brillo para mejorar el aspecto final, con la sulfatación también se logra subir el pH⁸.
- **Alcalización:** En este paso también se agrega lechada de cal al jugo para lograr una buena clarificación posterior.

⁸ Abreviatura de potencial de hidrógeno. Coeficiente que caracteriza el grado de acidez de un medio.

- **Calentamiento:** Esta parte se realiza con cinco calentadores de jugo y el objetivo es acondicionar la temperatura del jugo para una clarificación.
- **Clarificación:** La clarificación en sí se realiza en dos clarificadores de jugo, estos retienen el jugo por un período de tiempo provocando que todos los lodos y contaminantes precipiten y sean evacuados mediante paletas y bombas. Al lado saliente de los clarificadores se les llama cachazón y tiene un importante contenido de jugo, por lo que no se bota inmediatamente sino que pasa por un proceso de filtrado y el jugo claro pasa al proceso de evaporación.
- **Filtrado:** En este proceso se le extrae el jugo al cachazón, mediante filtros al vacío producido por el vapor y se devuelve al proceso. El lado siguiente de los filtros se le llama cachaza y está lo suficientemente agotada, por lo que se manda al campo como abono orgánico.

El ingenio cuenta para este proceso con cuatro filtros al vacío. Es importante hacer notar que para tener una mejor extracción de jugo en los filtros se mezcla con bagacillo que es bagazo filtrado.

f. **Evaporación.**

El jugo ya clarificado entra al proceso de evaporación, este consiste en evaporar el agua contenida en el jugo y producir un líquido más denso llamada meladura.

En la evaporación se utiliza como elemento calefactor el vapor saliente de los turbo-generadores y turbinas de molinos, además, como se utilizan cinco cuerpos de evaporación el vapor producido al evaporar el jugo en un cuerpo se utiliza para evaporar el jugo en el siguiente y así sucesivamente.

El ingenio cuenta con dos baterías independientes de evaporadores lo que les permite hacer las limpiezas químicas sin tener que detener el proceso.

Para realizar la evaporación del agua contenida en el jugo sin elevar demasiado la temperatura se produce vacío en los cuerpos y se logra mediante inyectores de vacío, alimentados por agua fría proveniente del río Tempisque.

g. Cocimiento.

En los tachos se realiza el cocimiento, éstos toman la meladura provenientes de los evaporadores y se inicia el proceso de cristalización, el cual consiste en concentrar la meladura hasta el punto de saturación para provocar la generación de cristales los que se desarrollan hasta un tamaño conveniente.

También los tachos se trabajan al vacío por lo que al igual que los evaporadores utilizan inyectores de vacío y alimentados con agua fría del río.

Se cuenta con siete tachos de los cuales tres son para masas de primera, dos de segunda y dos de tercera.

h. Centrifugado.

El proceso de centrifugado tiene por objetivo separar la miel de los cristales de azúcar, se logra sometiendo la masa a alta velocidad de giro en una canasta o centrífuga, la miel drena por los orificios de la canasta y el azúcar queda adherido a las paredes de la canasta, para ser removido posteriormente por un raspador o arado.

A la miel obtenida del proceso de centrifugado se la llama miel A y tiene un importante contenido de sacarosa, por lo que se debe devolver al proceso de cocimiento para un mayor agotamiento.

Solamente la miel que resulta del centrifugado de la masa de tercera está lo suficientemente agotada para sacarla del proceso y es la que se le llama miel final o miel de purga. Esta miel se almacena en un tanque para luego venderla, entre los compradores de esta miel se encuentran los ganaderos que la utilizan como suplemento alimentario para el ganado e industrias que la utilizan como subproductos como CATSA⁹ que la utiliza para hacer alcohol.

El azúcar al salir del proceso de centrifugado pasa al proceso de secado, esto se hace solamente cuando se necesita azúcar blanco y consiste en someter al azúcar en contacto directo con un flujo de aire caliente en sentido contrario al flujo del azúcar, esto se realiza en un cilindro horizontal que tiene un movimiento rotativo.

Cuando el azúcar no se somete al proceso de secado, el producto final tiene un color más oscuro debido a que se le da menos centrifugado y la miel queda adherida en los cristales y se le llama azúcar crudo.

i. Envase.

El azúcar después de pasar por la secadora se pasa por las tolvas de almacenamiento para luego ser envasado en sacos de 50 Kg.

En este proceso se verifica el peso y se cargan los camiones con el azúcar para ser transportados a la bodega de LAICA.

⁹ Central Azucarera del Tempisque S.A.

Cuando se produce azúcar crudo, el transporte se realiza en camiones con tolvas instaladas para este fin. Este azúcar es llevado hasta las bodegas de LAICA ubicada en Punta Morales para la exportación.

CAPÍTULO V
FUNCIÓN DEL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO.

5.1 FUNCIÓN DEL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO.

El Departamento de Mantenimiento tiene como función primordial el asegurar el funcionamiento óptimo de toda la empresa durante el período de zafra activa, para ello se programan los trabajos y cambios por realizar en el período de reparación. Entre sus responsabilidades se encuentran:

Período de zafra activa.

- a. Inspección visual y periódica de los equipos.
- b. Realizar mantenimiento correctivo en general.
- c. Coordinar paradas para realizar mantenimiento.
- d. Llenar un requisito de ciertas variables de las máquinas más importantes.

Período de reparación.

- a. Desarme de equipos e inspección de las partes internas.
- b. Cambio de los repuestos necesarios.
- c. Armar el equipo y comprobar su funcionamiento.
- d. Realizar las pruebas necesarias al comenzar la zafra para asegurar un arranque sin complicaciones.
- e. Durante este período se realizan montajes de equipos nuevos y mejoras que se llevan en paralelo con la reparación.

5.2 ESTRUCTURA DEL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO.

El Departamento de Mantenimiento como cualquier otro, debe tener una estructura bien definida con el fin de respetar el nivel jerárquico y evitar los errores en el flujo de la información.

Estructura del Departamento de Mantenimiento

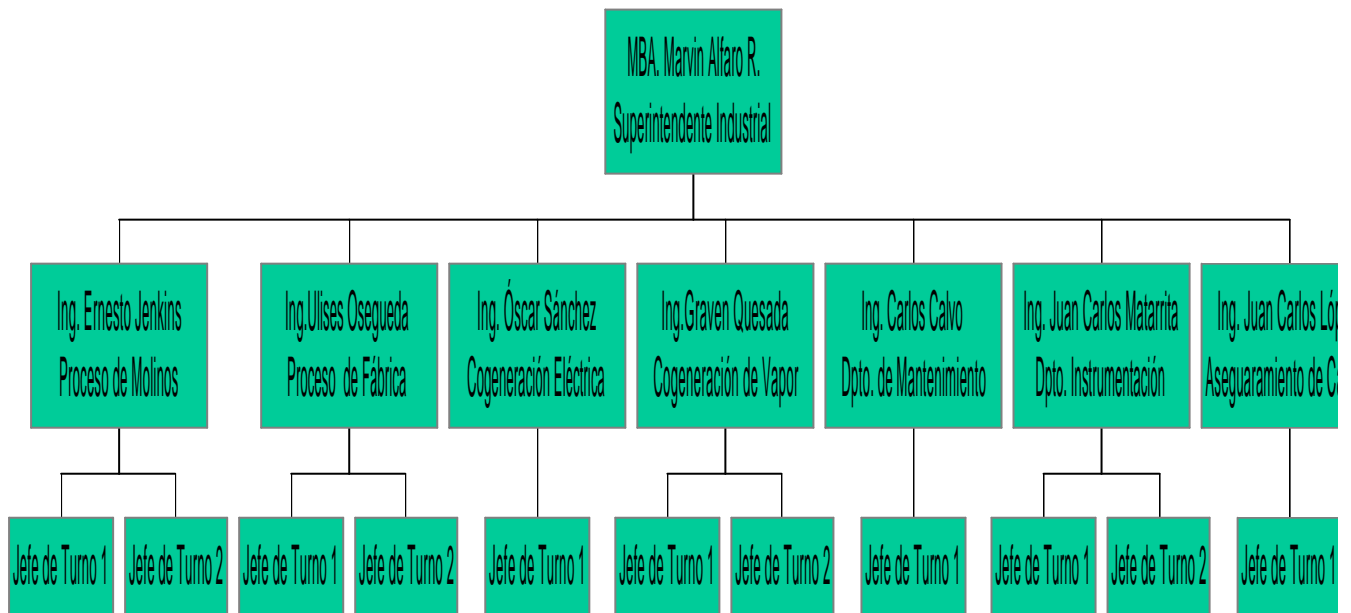


Diagrama 5.1 Estructura del Departamento de Mantenimiento.

CAPÍTULO VI
OBJETIVOS.

OBJETIVOS.

6.1 OBJETIVO GENERAL.

Instalar una turbina accionada con vapor controlada mediante un gobernador electrónico Woodward para una turbo-bomba.

6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

Desarmar la turbina para ver su estado.

Corregir cualquier mal funcionamiento encontrado y reemplazar las piezas necesarias.

Montar y alinear la turbina en su lugar de trabajo.

Optimizar el sistema de lubricación para los bearings.

Proponer la trampa de vapor más adecuada para su óptimo funcionamiento.

Establecer sistema de enfriamiento adecuado.

Programar el gobernador electrónico con sus debidos parámetros para la gobernación de la turbina.

Probar el buen funcionamiento de la turbina.

CAPÍTULO VII
SITUACIÓN ACTUAL.

7.1 SITUACIÓN ACTUAL.

Al ser una caldera comprada de segunda mano, la mayoría de los equipos necesarios para el buen funcionamiento de la misma se trajeron de Estados Unidos. Al identificar las bombas necesarias y los motores lo único que hacía falta era la selección de la turbina, la cual no estaba funcionando con esta bomba pero sí trabajaba con el vapor que producía esta caldera para mover un reductor.

Dicha turbina es de la marca General Electric con las siguientes especificaciones:

- Serial no. 81637
- Model no. 7TDPY125R20
- Rating 800 HP
- Rpm 3575
- Inlet press 850 psi
- Outlet press 20 psi
- Temperature 825 ° F

Lo primero que se hizo fue la revisión del estado de la turbina para saber si había que hacer algún tipo de mantenimiento. Hubo que limpiarla ya que tenía varios meses sin uso y estaba toda llena de corrosión por fuera. Luego se notó que el eje de la turbina estaba doblado y se tuvo que mandar a hacer el eje nuevo, pero con las mismas medidas, o sea, que quedara exactamente igual ya que esta turbina trabajará a altas velocidades como se puede notar en las especificaciones anteriores.

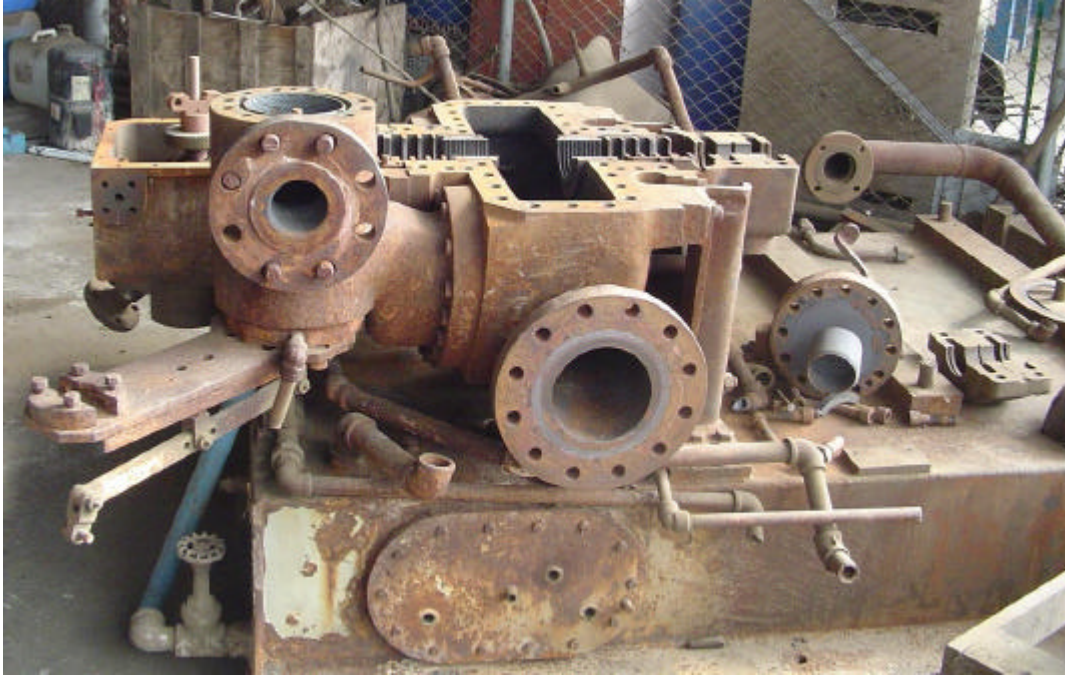


Foto 7.1 Turbina de segunda mano.

Luego, una vez entregada se revisó nuevamente para cerciorarse que estaba bien armada y que la colocación de los sellos de carbono estuvieran bien puestos, ya que a 62.05 bar (900 psi) es mucha la presión y si no están en una correcta posición, el vapor que se escapa sería demasiado y la turbina perdería una considerable cantidad de vapor que se vería reflejada en la eficiencia, además, no quedaría funcionando como se debe.

Al hacer la inspección , se notó que el disparo de emergencia estaba fallando en su funcionamiento. Hubo que revisar el disparo de la válvula porque se estaba quedando pegado, por lo tanto, se procedió a desarmar la válvula y lijar un poco en los lugares en donde se sentía áspera la superficie y era allí, en donde podía estar fallando el funcionamiento de la válvula y podría ser muy peligroso por ser el disparo de seguridad y si esta falla llegaría a ser delicado debido a que la turbina puede quedar funcionando a velocidades no permitidas.

Examinada nuevamente la turbina, se trasladó hasta donde iba a ser instalada, por medio de un monta-carga, pero al llegar no se pudo ensamblar en las bases respectivas convirtiéndose este en el primer inconveniente del montaje, ya que no fue bien planificada por un abanico neumático que obstruía el acceso hasta las bases. Seguidamente, se tuvo que solicitar la ayuda de la grúa Pettibone para poder montar correctamente la turbina y luego seguir con la alineación de los ejes. Inmediatamente, unir el acople para poder transmitir la energía mecánica.

Cabe destacar que uno de los sistemas utilizados para la alineación de esta turbina fue con gramil que es el mismo sistema que se utiliza para centrar las piezas en los tornos, esto fue necesario porque los diámetros de los ejes de la turbina y la bomba no eran iguales sino que diferían en 0.0015875 metros (1 /16 de pulgada) por lo que había que tener en cuenta este detalle.

Una vez concluida la alineación de la turbina, se procede a terminar de tirar la tubería de alimentación del vapor y seguidamente calcular cuál será la trampa de vapor correspondiente ya que se debe tomar en cuenta que esta turbo-bomba es solo para uso de emergencia. Al estar en estas condiciones de trabajo, será considerable la cantidad de condensados que se irían acumulando en este tiempo. Se recomienda instalar una trampa que esté evacuando condensados constantemente.

Otro aspecto importante que hay que tomar en cuenta es que la tubería al ser únicamente para alimentar la turbina en su trayecto, también, se condensa vapor por lo que el uso de la trampa es una práctica imprescindible, además, un choque térmico que produce vapor de 62.05 bar (900 psi) con agua conlleva un golpe de ariete sumamente fuerte, el cual sería muy peligroso. También debe asegurarse que a la turbina sólo le llegue vapor sobrecalentado, por lo tanto, se sugirió colocarla con un cuello de ganso.

Esta trampa de vapor fue calculada por medio de un programa facilitado por la compañía suministradora. Se dieron los siguientes datos para poder suponerla:

Sistema de distribución de vapor

Líneas suministradoras de vapor

Línea de ramificación

Distancia de la línea ramificada: 40 m

Diámetro nominal de la tubería: 0.127 metros (5 pulgadas)

Mínima temperatura de ambiente: 37 °C

Velocidad del viento: 1609 metros por hora

Presión máxima de trabajo: 62.05 bar (900 psi)

Presión de la línea de retorno: 1.37 bar (20 psi)

Tipo de aislamiento: 0

Con los datos anteriormente citados, el programa nos da el cálculo de condensados que puede descargar 293.02 Kg/ hr (646 libras por hora.)

Con un factor de seguridad de: 3.

Nos da un máximo de condensado que pueden evacuar: 879.51 Kg/hr a 60.67 bar (1939 libras por hora a 880 psi).

El tipo de trampa de vapor que el programa recomienda es:

Primera opción: trampa de balde invertido.

Segunda opción: trampa de balde invertido.

Nos dan la siguiente lista del tipo de trampa para utilizar con las siguientes características.

How Various Types of Steam Traps meet Specific Operating Requirements

Characteristic	Inverted Bucket	F&T	Disc	Thermo- static	Diff. Cont.
Energy Conservation (Time in Service)	Excel	Good	Poor	Fair	Excel
Responsiveness to Slugs of Condensate	Imed	Imed	Delay	Delay	Imed
Ability to Handle Dirt	Excel	Poor	Poor	Fair	Excel
Performance on Very Light Loads	Excel	Excel	Poor	Excel	Excel
Vents Air and CO ₂ at Steam Temp.	Yes	No	No	No	Yes
Resistance to Hydraulic Shock.	Excel	Poor	Excel	Poor	Excel
Resistance to Wear	Excel	Good	Poor	Fair	Excel
Corrosion Resistance	Excel	Good	Excel	Good	Excel
Mechanical Failure(Open-Closed)	Open	Closed	Open	Both	Open

La trampa recomendada a la entrada de la turbina tiene las siguientes especificaciones:

- Marca Armstron International
- Tipo Balde invertido 401 SH
- PMO 1000 psig / 69 bar
- PMA 1000 psig / 69 bar
- TMA 800 ° F / 427 °C
- ISO PN 100

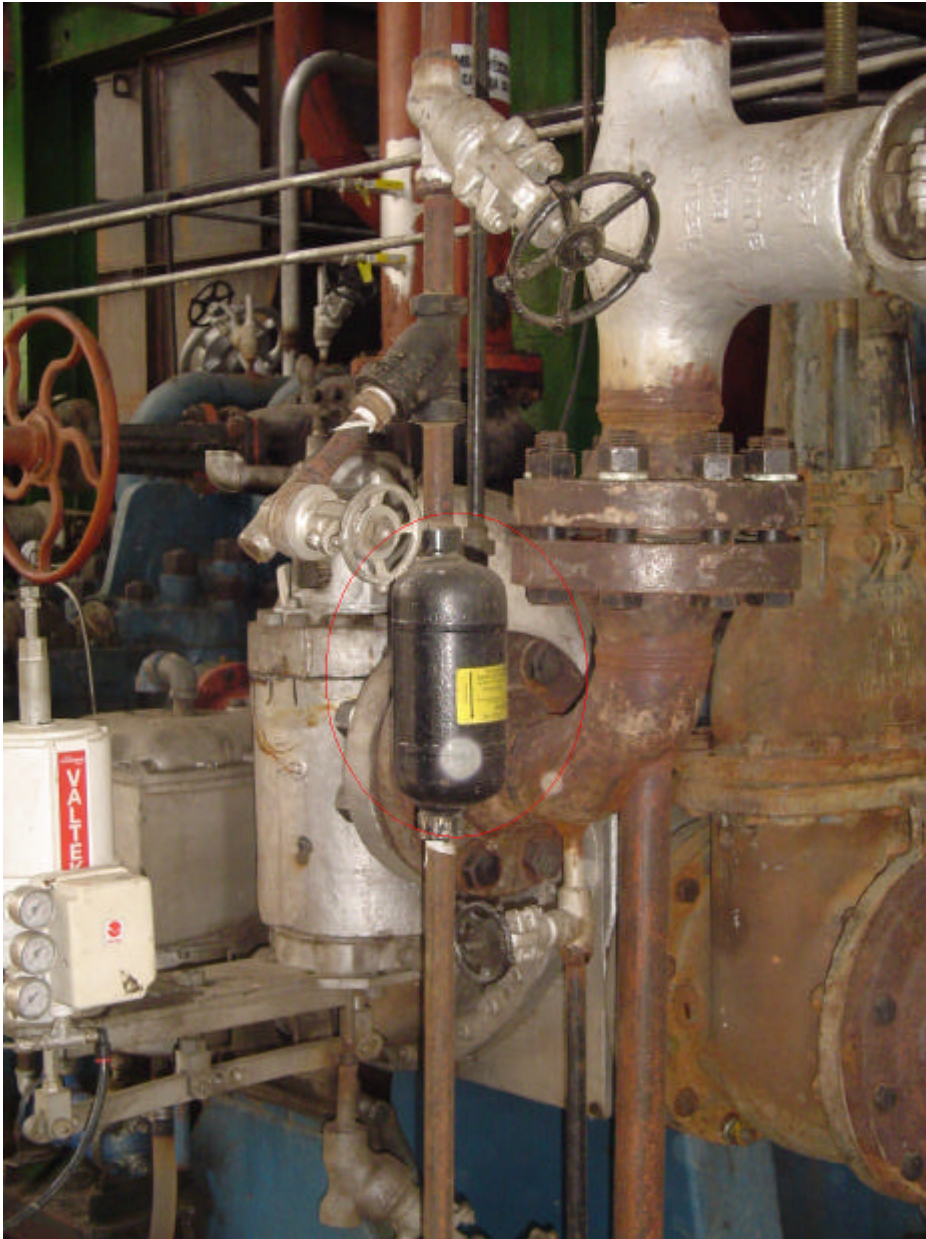


Foto 7.2 Apreciar la instalación de la trampa de vapor, recomendada para la evacuación de condensados.

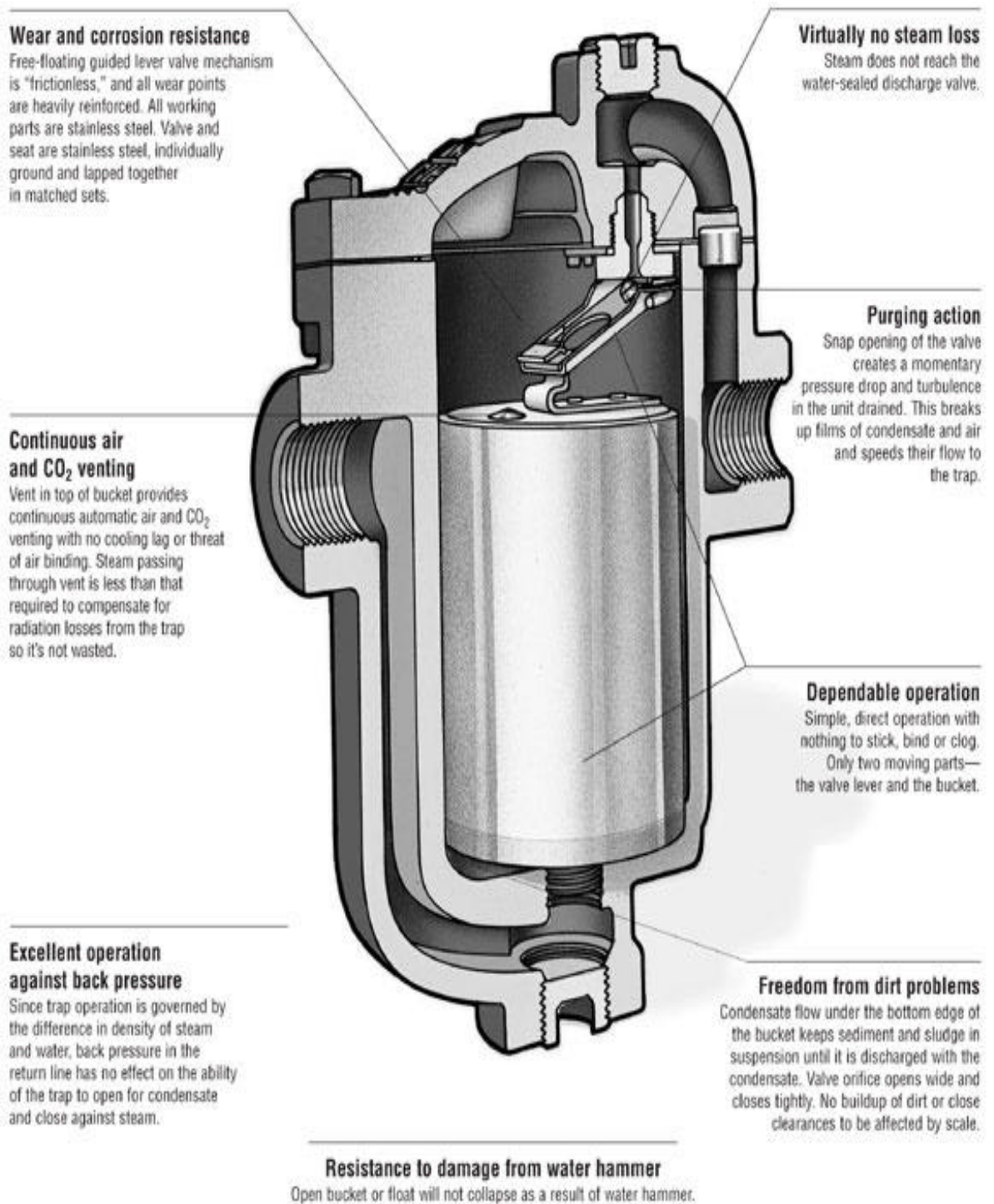


Figura 7.1 Especificaciones y particularidades de la trampa de balde invertido sugerida a la entrada de la turbina.

Además de estas purgas, se debe tomar en cuenta que tanto arriba como abajo en la válvula de entrada de vapor conviene tener un sistema de alivio de vapor. Se instalan válvulas y niples de alta presión en vista de que ahí va a llegar primeramente, vapor a 41.36 bar (600 psi) y luego a 62.05 bar (900 psi).

En la parte de arriba de la turbina, en la válvula de entrada de vapor, se le puso un codo y un tubo de alta presión de escape a la atmósfera, ya que por este conducto saldrá una mezcla de condensado y vapor. Con la purga de abajo de la válvula de entrada lo que se adaptó fue un niple y una válvula la cual evacuaría, mezcla de vapor y condensados, el agua caería a un canal de desagüe que se tendría previsto para dicha función. Como mencioné anteriormente, todos los acoples y uniones utilizados para dicha construcción son de alta presión.

En la carcasa de la turbina, en su parte superior, también tiene un escape de emergencia. Se propuso una válvula de alivio con las siguientes características:

- Marca Industrial Valve Sale Inc.
- Type 1543 E
- Size 3/4"
- Set press 125 psi
- Cap 1348
- Serial number S10278 – 1

Con esta válvula de alivio se garantiza que el sistema no va a quedar presurizado.

Estando listo el sistema de inyección del aceite hacia las dos chumaceras de la turbina. Se hizo con tubería de acero inoxidable de 0.009525 m (3/8 de pulgada) la llegada hacia las chumaceras y de 0.01905 m (3/4 de pulgada) para el retorno con tubería de acero, esto, porque en la entrada de las chumaceras se requiere una mayor presión de la que requiere al retorno.

Se revisa la bomba interna de aceite para cerciorarse cuál es la entrada y retorno de aceite, notándose que tenía un sistema de enfriamiento propio, había que incorporar una tubería de enfriamiento para lo cual se sacó una ramificación de uno de los tubos principales de agua de servicio para la caldera. Este fue un tubo de 0.0508 m (2 pulgadas) con bajante de tubo de 0.01905 m (3/4 de pulgada) con una válvula de servicio y un strainer¹⁰ para poder realizar la limpieza de la tubería. Además, se aprovechó para hacerle llegar agua a un intercambiador de calor que estaba conectado a un motor de una de las bombas de inyección de agua.

Luego, la tubería que alimenta esta turbina se le hizo una variación ya que esta iba a terminar casi debajo de la bomba; pero en el momento de hacer algún tipo de mantenimiento a la bomba iba a ser muy incómodo para destaparla, ya que se requiere la ayuda de un tecele para poder levantar la tapa. Entonces, se recomendó desviar un poco la trayectoria de la misma, además, poner una válvula de servicio y para terminar, un flanger ciego; esto con el fin de poder quitar y poner el flanger cuando sea necesario, como por ejemplo, cuando se tiene que soplar la tubería con vapor para hacer una limpieza y así eliminar todas las suciedades o escoria de soldadura que pudiese haber quedado a la hora de ser instalada.

¹⁰ Filtro para evitar que se ensucie la tubería con materia extraña.

Seguidamente se le dio vuelta al codo que llega a la alimentación de la turbina, esto, para soplar la tubería y quede lista a la hora de las pruebas. Una vez sopladas las tuberías con vapor, se le vuelve a instalar el codo correctamente para que quede listo y volver a chequear la alineación de los ejes. Como se comentó anteriormente, había que hacer la soldadura de la tubería tanto la de alimentación de vapor como la de escape.

La tubería de escape se hizo con tubería de 0.2032 m (8 pulgadas,). Tiene su salida al cabezal que da alimentación a los deaireadores ya que se tiene previsto una presión de escape de 1.37 bar (20 psi) y esta presión es la que ocupan estos equipos para su operación. Los deaireadores son elementos que se colocan en la alimentación de agua en una caldera, con el fin de eliminar excesos de oxígeno, dióxido de carbono y otros gases que perjudican el funcionamiento y características de las calderas. El principal problema que aminora el deaireador es la alta corrosión del sistema.



Foto 7.3 Instalación de tubería en el cabezal de los deaireadores.

Como esta turbina llevará un gobernador electrónico, entonces, se procede a instalar un coplin contador, se ubica alrededor del eje de la turbina que tiene 60 pines. Por medio de un lector de pick-up situado justo encima de este coplin. Es el encargado de mandar señales pulsantes al gobernador para poder censar la señal de voltaje que manda; luego la frecuencia convierte esa señal de voltaje en las revoluciones por minuto deseados y así, darle una buena gobernación a la turbina. Todos los sistemas están conectados con cable apantallado 2 x 18 para garantizar que no interfieran ruidos y no tener lecturas falsas en la velocidad.

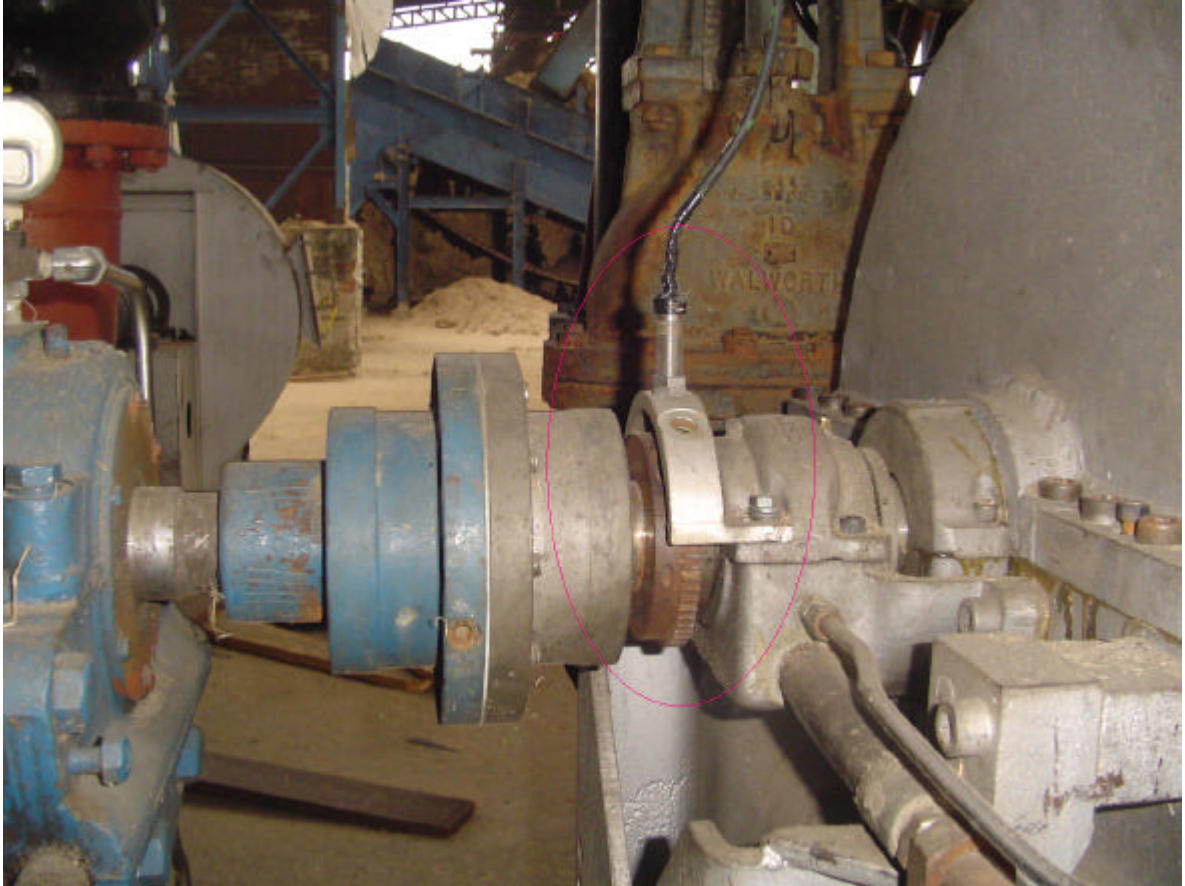


Foto 7.4 Coplin contador, pick-up, cable apantallado utilizado.

Teniendo la instalación completa, correcta y debidamente revisada por el Ingeniero Graven Quesada, encargado en la revisión de mis trabajos, se procede a trasladar el panel de control del gobernador y hacer la conexión neumática de la válvula reguladora de entrada de vapor a la turbina, luego hacer la programación correspondiente al software del gobernador para una correcta manipulación de la turbina.



Foto 7.5 Panel de control del gobernador electrónico Peak 150.

Una vez realizada la conexión neumática del panel de control, se procede a situar la válvula que va a ser accionada por el gobernador, con las siguientes características:

- Marca Flowserve
- Tipo Valtek Control Valves
- S/N 404931-001
- A. R to Open
- Signal 3 – 15 psig
- Tag G561133
- PO 70944

Se hicieron las pruebas pertinentes manualmente para garantizar el correcto funcionamiento del mismo, siendo esto visible por medio de tres manómetros¹¹. El sistema de funcionamiento de la válvula trabaja así: la válvula tiene una recámara internamente que actúa como un pistón, está dividida en dos partes, al ser la válvula de la turbina normalmente abierta, entonces, lo que tratará de hacer el gobernador es cerrarla para poder mantener el flujo de vapor deseado.

Si se desea abrir la válvula, se le mete presión por la parte de arriba de la recámara y esta hace salir un pistón que cerrará la válvula un poco más y viceversa.

¹¹ Instrumento que sirve para indicar la presión de los fluidos.



Foto 7.6 Válvula controladora de la entrada de vapor.

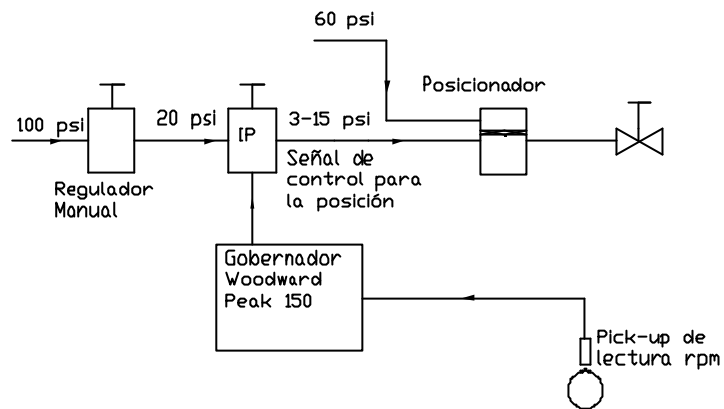
El IP (convertidor electro-neumático) tiene las siguientes especificaciones de trabajo:

- Model STD 6131
- Input 4 – 20mA
- Output 3 – 15 psi
- Supply 20 psi
- SN M613000F010465



Foto 7.7 Convertidor electro-neumático

Por medio del siguiente diagrama, se apreciará mejor de dónde proviene la señal que manejará la turbina:



AutoCAD 2005

Diagrama 7.1 Diagrama diseñado para manejar la turbina manualmente o automáticamente y saber de dónde provienen las señales.

El diagrama anterior explica el funcionamiento del principio de gobernación. Consiste en lo siguiente:

Mediante este diagrama, se apreciará que la turbina puede ser manipulada manual o automáticamente. Si se manipula manualmente para eso está el regulador manual, es una válvula de entrada de presión a la cual le entran 6.89 bar (100 psi) para su funcionamiento y le salen 1.37 bar (20 psi) y van hacia el IP, tiene una señal de control para el posicionador, que recibe señales de 0.20 a 1.03 bar (3 a 15 psi), pero está alimentado por 4.13 bar (60 psi) y de acuerdo con la señal que le mande abrirá o cerrará la válvula.

Por otra parte, si se quiere trabajar automáticamente, tiene conectado en el eje de la turbina un coplin contador, y justo encima tiene un lector de pick-up que manda la señal al gobernador Peak 150. Este ha sido programado anteriormente, poniendo un set point de 3200 rpm y se compara la señal que le está entrando junto con la que tiene seteada. Se compara las velocidades para aumentar o disminuir la velocidad de la turbina por medio de una señal de 4 a 20 miliamperios que manda el gobernador al IP. Donde 4 es cerrada y 20 es totalmente abierta.

El día de las pruebas de la caldera se encendieron diferentes equipos que trabajaría con el vapor generado. El turbo-generador #2 y la turbo-bomba arrojaron los siguientes resultados:

La turbina puede tener una manipulación manual. Fue utilizada el primer día de las pruebas para ver el comportamiento de la turbina y funcionamiento. Fácilmente podía ser disparada si ocurría cualquier error. El rendimiento de la turbina fue altamente satisfactoria, 95%.

Primeramente, sólo se iba a usar el sistema de enfriamiento de aceite interno de la turbina, pero al tocar las chumaceras de la turbina se sintió que estaban un poco calientes. Se optó por poner el sistema de enfriamiento externo. Consiste en situar un intercambiador de calor pequeño para que el aceite tenga más área de contacto con el agua fría y el aceite y pueda entrar con la temperatura más baja a las chumaceras de babbit.

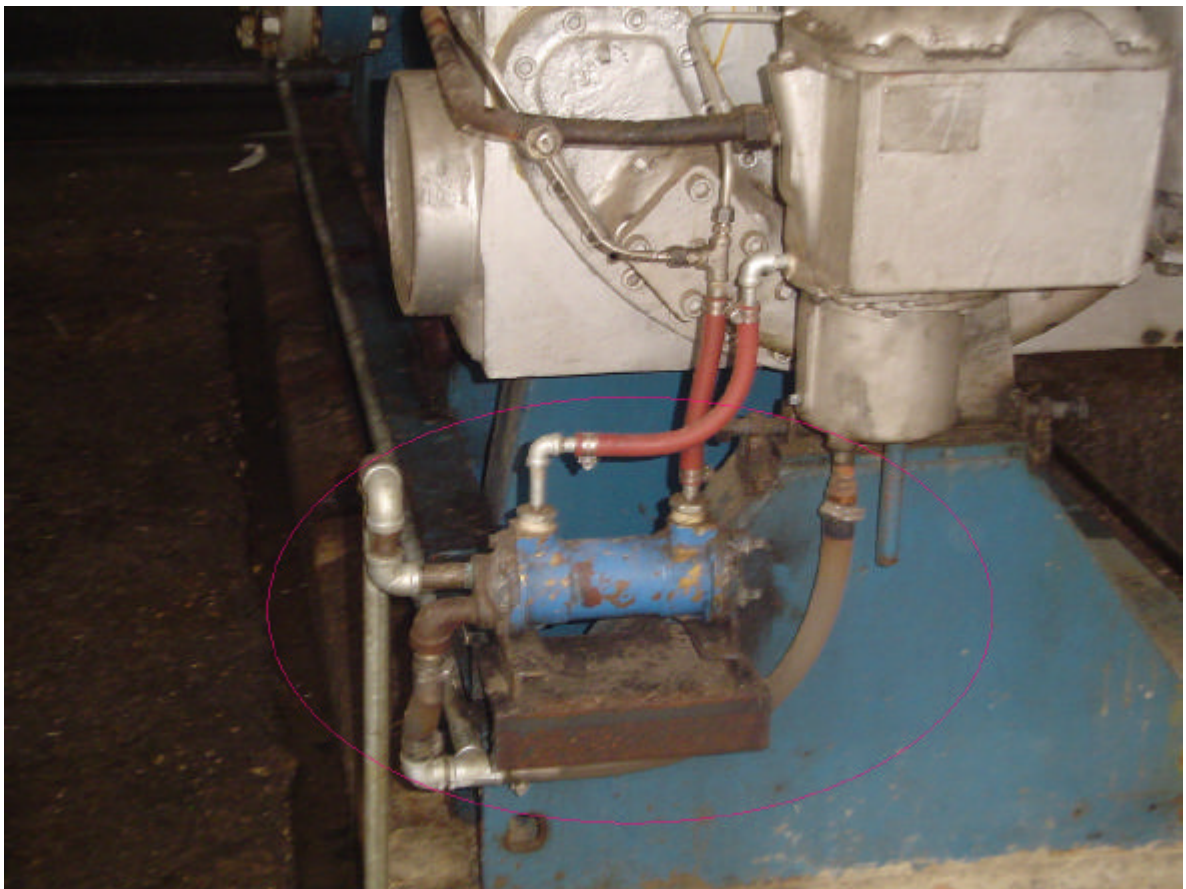


Foto 7.8 Sistema de enfriamiento externo.



Foto 7.9 Instalación completa de la turbina.

CAPÍTULO VIII
JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.

8.1 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.

PROYECTO DE DISEÑO.

Ensambladura de una turbina para ser utilizada en una turbo-bomba de la caldera # 4, con sistemas de lubricación tanto de la turbina como de la bomba de inyección, ambos sistemas se hayan montados en chumaceras de antifricción babbits.

Cambio en el sistema de gobernación de pasar de un gobernador mecánico Woodward a un gobernador electrónico.

Datos de placa de la caldera # 4.

- Marca Combustion Engineering Inc. CE Chemical and Heat Recovery Unit.
- Ciudad New York
- Capacidad : sólidos secos 65.417 lb / hr
- Producción de Vapor 225000 lb / hr
- Presión máxima 985 psi
- Supercalentador 875 °F

Superficie de calentamiento en (sq / ft)

- Caldera 17200
- Paredes de agua 13210
- Economizador 13500
- Construida con las reglas ASME S3093
- Contrato no 6965
- MFR 'S no 20473
- Año de fabricación 1966

¿Cuánto será la demanda de agua de la caldera?

De acuerdo con los datos, poseemos:

Capacidad de la caldera: 225 000 lb / hr

1 BHP = 15.65 Kg / hr = 34.5 lb / hr

BHP = Boiling Horse Power

$$225000 \frac{lb}{hr} / 34.5 \frac{lb}{hr} = 6521.73 \text{ BHP}$$

1 hora = 60 minutos

$$225000 \frac{lbs}{hr} * \frac{1 \text{ hora}}{60 \text{ min}} = 3750 \frac{lbs}{\text{min}}$$

Con 1 litro de agua producimos 2.2 lbs de vapor

$$3750 \frac{lbs}{\text{min}} * \frac{1 \text{ litro}}{2.2 \text{ libras}} = 1704.54 \frac{\text{litros}}{\text{min uto}}$$

1 galón = 3.785412 litros

$$1704.54 \frac{\text{litros}}{\text{min uto}} * \frac{1 \text{ galon}}{3.785 \text{ litros}} = 450.34 \frac{\text{galones}}{\text{min uto}}$$

La selección de la bomba de alimentación de agua depende de cinco factores:

- Presión de descarga.
- Capacidad (lt / min, g.p.m).
- Operación continua o intermitente.
- Temperatura del agua de alimentación.
- Carga neta de succión positiva (NPSH) requerida.

Por lo tanto, haciendo un estudio para la selección de las bombas y teniendo en cuenta los puntos anteriores, se sugiere:

La operación de la bomba en uso, sería continua.

La temperatura del agua de alimentación es de alrededor de unos 105 °C. Se utilizará agua de retorno de condensados del turbo-generador #1 y de los condensados de los pre-evaporadores que se encuentran en la fábrica.

La capacidad de las mismas será de 63.09 l/s (1000 g.p.m.).

La presión de descarga es 741.88 m (2434 pies), para lo cual tenemos la siguiente conversión:

1 psi = 2.31 pies (son factores diferentes), ya que uno es de presión y el otro es de distancia.

Por lo tanto tenemos: $2434 \text{ pies} * \frac{1 \text{ psi}}{2.31 \text{ pies}} = 1053.67 \text{ psi}$. Sí es posible ya que requerimos de 72.67 bar (1054 psi) que nos da la bomba y la presión máxima que levantará la caldera es de 62.05 bar (900 psi), Tiene un factor de seguridad de un 7%.

Para ese fin se ha seleccionado una bomba con los siguientes datos de placa:

- Marca Worthington Harrison New Jersey. USA
- Serial no. 1349941
- Volute pump 6 – UX – 2
- Rpm 3550
- Driver hp 788
- T.G.H 2434 feet
- G.P.M 1000

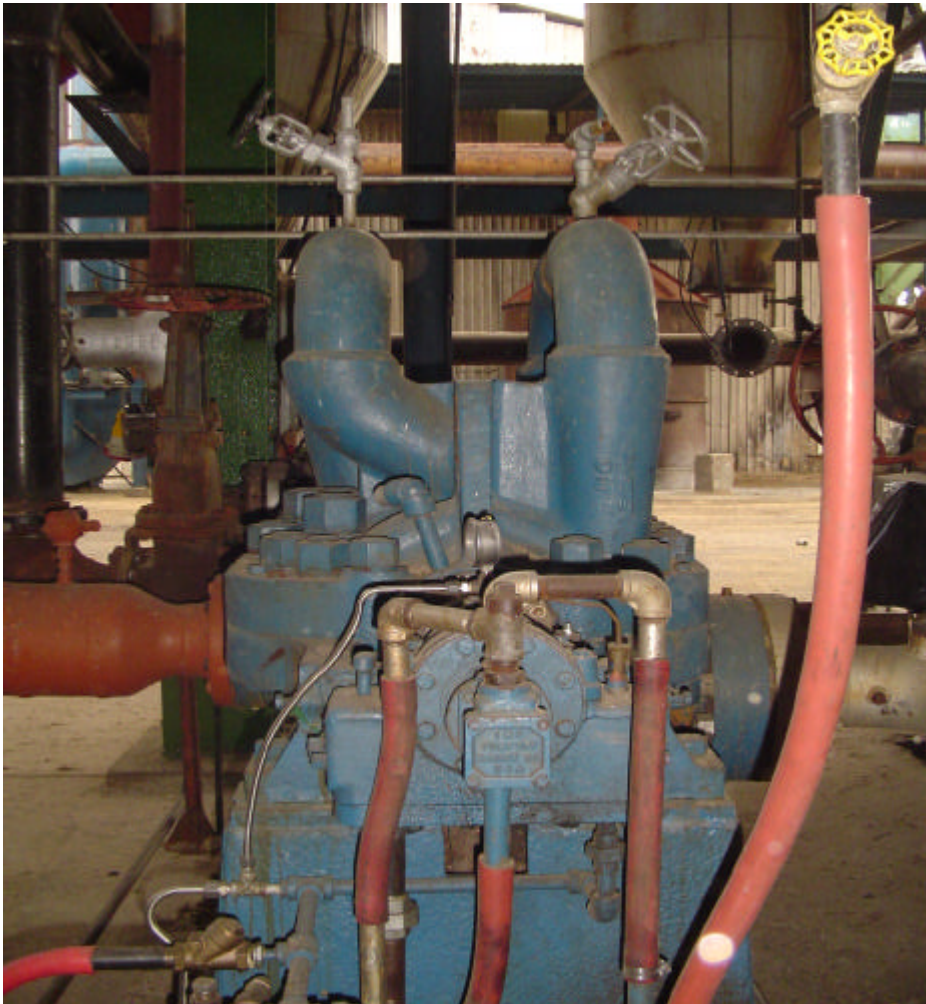


Foto 8.1 Bomba seleccionada.

A continuación menciono un extracto del Reglamento de Calderas publicado en el periódico La Gaceta número 65 del día jueves 2 de abril de 1998; esto con el objetivo de destacar los artículos más sobresalientes y que conciernen con el trabajo del montaje de la turbina.

Capítulo segundo.

De la clasificación de calderas.

Artículo 2 – Las calderas se clasificarán de la manera siguiente:

a) Con relación a su capacidad:

*a.1.) **Categoría A:** aquellas calderas que generen más de 7500 Kg/hora de vapor, o que tengan una superficie de calefacción mayor de 200 metros cuadrados, cualquiera de los dos valores que sea mayor.*

b) Con relación a su uso: se clasifican en Nuevas o Usadas.

c) Con relación a su instalación en: permanentes, temporales, o portátiles.

d) Con relación a su ubicación en: zona rural, zona urbana, zona industrial, o parque industrial.

e) Con relación al combustible usado en: de combustible líquido, búnker, diesel, u otro; de combustible sólido, carbón leña, bagazo, u otro; de energía eléctrica; de combustible gaseoso, u otro.

f) Con relación a fluido calentado: de agua, de fluido térmico, u otro.

g) Con relación a la forma de calentar el fluido de trabajo: en igneotubulares, acuotubulares, eléctricas u otras.

h) Con relación a su montaje: verticales, horizontales, de tubos curvos, de tubos rectos, de domos longitudinales, de domos transversales, de uno o de varios domos, etc.

Artículo 6.

a) Si las calderas son de categoría "A".

a.1.) Deberán ser instaladas en un cuarto de calderas.

a.2.) Las paredes del cuarto de calderas deberán quedar a una distancia mínima de tres metros de la vía pública, del predio vecino y de las habitaciones más cercanas.

a.3.) La distancia mínima entre las calderas y las paredes del cuarto de calderas, entre una y otra en una batería de calderas, deberá ser de un metro.

a.4.) Deberá existir un espacio libre mínimo de dos metros desde la parte superior de la caldera hasta la parte inferior de la estructura del techo.

Artículo 23.

Las calderas de categorías "A" y "B" deberán estar dotadas de los dispositivos mínimos siguientes:

a) Dos válvulas de seguridad.

b) Dos indicadores de nivel de agua.

c) Dos controles de nivel de agua.

d) Dos manómetros.

e) Dos controles de presión.

f) De los sistemas de alimentación de agua, solicitados en este reglamento.

g) De las válvulas de entrada solicitadas en este reglamento.

h) De una válvula de salida.

i) De aberturas de inspección, tanto en el lado del agua como en el lado del fuego.

j) De tres grifos de prueba para los niveles.

k) Cumplir con lo dispuesto en el artículo 87 del Decreto Ejecutivo Nº 25584 del 8 de noviembre de 1996.

De los sistemas de alimentación de agua.

Artículo 27- Todos los sistemas de alimentación de agua a las calderas, deberán cumplir con los requisitos mínimos siguientes:

b) Las calderas de leña, bagazo, carbón, con hornos de contenido residual de combustible, automáticas o manuales, de cualquier categoría, usarán dos sistemas de alimentación de agua de distinto tipo: uno puede ser bomba eléctrica, y el otro puede ser bomba reciprocante a vapor, bomba con turbina de vapor, inyector de vapor, etc.; cuando el usuario tenga una o más fuentes independientes de energía eléctrica, tales como plantas de emergencia, plantas hidráulicas, o térmicas propias, además de la conexión a la red pública de energía eléctrica, podrá usar todas las bombas de tipo eléctricas. En todo caso la capacidad de los aparatos de alimentación será de una vez y media la capacidad de evaporación de las calderas, y la presión de descarga de esos aparatos será de una vez y media la presión máxima de trabajo de la caldera.

c) Las calderas automáticas y de paquete, de categoría "A" y "B", instaladas individualmente, tendrán dos bombas de alimentación eléctricas y los controles de nivel energizarán los circuitos eléctricos de las bombas, las alarmas y los cortes por el mínimo. ¹²

¹² Tomado del Reglamento de calderas, decreto 26789 y sus reformas.

8.2 ¿ Qué es un gobernador?.

En la mayoría de los casos, es un dispositivo que mide la velocidad de un motor o una turbina (como en este caso), y controla el combustible o vapor que los alimenta de modo a mantener la velocidad en un nivel deseado atendiendo a las variaciones en la carga o en la potencia de salida.

Hay casos en que se controla la carga u otros parámetros para controlar la velocidad de la máquina. En todos los casos el gobernador termina por controlar la fuente de energía para un motor o turbina de modo que controle su potencia y se pueda usar en una aplicación específica.

Para tener un ejemplo real, el conductor de un carro es el gobernador para un carro el cual está ajustando continuamente la cantidad de combustible para mantener la velocidad del carro, entonces con esto se tienen dos conceptos de velocidad:

8.3 Velocidad de referencia deseada.

La velocidad indicada por el velocímetro sería la velocidad real del sistema. El conductor compara estas dos velocidades, si son iguales él mantiene firme el acelerador, de lo contrario, aumenta o disminuye la presión sobre el acelerador para hacer que la velocidad real se iguale con la deseada.

Todos los gobernadores tienen seis componentes fundamentales:

- a) Ajustes de velocidad.
- b) Un modo para medir la velocidad real.
- c) Un modo de ajustar la velocidad deseada.
- d) Un modo para comparar la velocidad real con la velocidad deseada.
- e) Un modo del gobernador para variar el combustible para el motor o la turbina.
- f) Un modo de estabilizar el motor o turbina después de haber sido efectuado un cambio en el combustible.

Ajustar la velocidad deseada de un gobernador es necesario para controlar turbinas y motores de modo eficiente. Gobernadores modernos poseen sistemas avanzados de ajustes de velocidad que pueden efectuar compensaciones para una larga variedad de condiciones cuando determina la velocidad deseada.

Gobernadores mecánicos-hidráulicos usan un resorte acelerador. Cuanto mayor la fuerza aplicada al resorte, mayor el ajuste de velocidad deseada.

Gobernadores electrónicos usan una corriente o un voltaje para ajustar la velocidad.

8.4 Medición de la velocidad.

El gobernador debe ser capaz de percibir una señal que sea proporcional a la velocidad de la turbina o del motor.

En gobernadores mecánico-hidráulicos eso se hace con la fuerza centrífuga de un sistema de contrapesas ligado al eje de la turbina o del motor.

En controladores electrónicos se usa la medición de la frecuencia de un pick-up magnético, alternador o generador que es directamente relacionado con la velocidad.

La frecuencia es convertida en una señal electrónica (voltaje o corriente) que puede ser usada por el control.

En los casos cuanto mayor sea la velocidad de la turbina mayor es la señal sentida.

8.5 Comparación de las velocidades.

Las señales relacionadas con el ajuste deseado y con la velocidad real son comparadas o adicionadas. Las direcciones de las señales son opuestas.

Cuando las fuerzas tienen el mismo valor, la suma será cero y el gobernador estará controlando la velocidad real en el punto de ajuste de la velocidad deseada.

Si la velocidad deseada es mayor que la velocidad real el gobernador aumentará la admisión de combustible hasta que las fuerzas se equilibren y la suma sea igual a cero. Si la velocidad deseada es menor que la real, el gobernador actuará en la dirección opuesta disminuyendo la admisión de combustible.

8.6 Variación del combustible para la máquina.

El gobernador o actuador mecánico-hidráulico posee normalmente un eje de salida rotacional o lineal que es conectado al sistema de inyección de combustible en el motor o en la turbina.

En controles electrónicos, una señal eléctrica es enviada a un actuador que convierte esa señal en una fuerza mecánica para mover el ajuste de combustible, así como hacen los gobernadores mecánico-hidráulicos.

Diferentes tipos de gobernadores y actuadores realizan diferentes cantidades de trabajo en su salida y el control adecuado necesita ser seleccionado para cada aplicación.

8.7 Modos de estabilizar la turbina.

Es necesaria la existencia de una manera de estabilizar el gobernador para hacer controlar la turbina en régimen permanente.

La estabilización puede ser alcanzada por diferentes medios, pero todos estos usan un sistema de realimentación para aplicar una señal a la chumacera o al sumador.

La realimentación es normalmente en forma de “droop” o compensación, o la combinación de ambos.

El “droop” o compensación son usualmente relacionados con la cantidad que el eje de salida es solicitado a moverse.

8.8 Velocidad, potencia de salida y carga.

Dada una posición del actuador, la velocidad es determinada por la carga de la máquina. En muchos casos el gobernador siente la velocidad de la máquina y cambia la posición del actuador para variar la potencia de salida a modo de atender la carga. En otros casos el ajuste de velocidad es variado para obtener una determinada carga para una velocidad fija.

El gobernador controla la posición del actuador y por tanto la inyección de combustible de modo a mantener una carga deseada.¹³

8.9 TURBINA A VAPOR.

“Una turbina a vapor puede definirse como una máquina calorífica en la que la energía del vapor se transforma en energía cinética, por medio de la expansión a través de boquillas y la energía cinética del chorro resultante se convierte a su vez en fuerza que realiza un trabajo sobre una serie de anillos de aspas montadas en una pieza giratoria”¹⁴.

Esta definición también se puede enunciar así:

“Una turbina a vapor es un elemento motriz principal que convierte la energía térmica del vapor directamente en energía de rotación”.

Una turbina a vapor desarrolla trabajo mecánico al convertir en trabajo la energía calorífica disponible en la expansión del vapor. El calor y el trabajo mecánico, al ser dos formas de energía, se pueden convertir el uno en otro. La energía calorífica se convierte en dos pasos. El calor se expande en boquillas y descarga a alta velocidad, convirtiendo la energía calorífica disponible en energía de velocidad (cinética). El vapor a alta velocidad golpea las paletas en movimiento, convirtiendo la energía de velocidad en trabajo.

El trabajo mecánico que se desarrolla en la turbina por el vapor de alta velocidad, que golpea las paletas, está en función de la velocidad de las paletas.

¹³ Tomado del manual Fundamentos de la gobernación de velocidad. Systech ; Systech automação e control LTDA.

¹⁴ Tomada del Folleto a Turbinas de Vapor y de gas, por Juan Rojas V.

El trabajo máximo tiene lugar cuando la velocidad de las paletas es aproximadamente la mitad de la velocidad del chorro de vapor de una turbina por impulso; mientras que la velocidad del chorro de vapor está determinada por la energía calorífica disponible, la velocidad de las paletas queda determinada por la velocidad de la turbina y el diámetro de la turbina en la cual están montadas las paletas.

El trabajo desarrollado o la eficiencia de la turbina está determinado por el tamaño de la turbina y la velocidad de ésta para una cantidad fija de energía calorífica disponible.

8.10 Turbinas de un solo paso.

a) Paso Curtis

La turbina de un solo paso más común es el tipo de velocidad compuesta (Curtis). La expansión completa de la presión de entrada a la presión de salida, se realiza en un paso, con dos hileras de paletas rotatorias.

b) Paso de reentrada.

El vapor fluye dos veces a través de la paletas en movimiento.

c) Paso de reentrada

El vapor fluye tres veces a través de la paletas en movimiento.

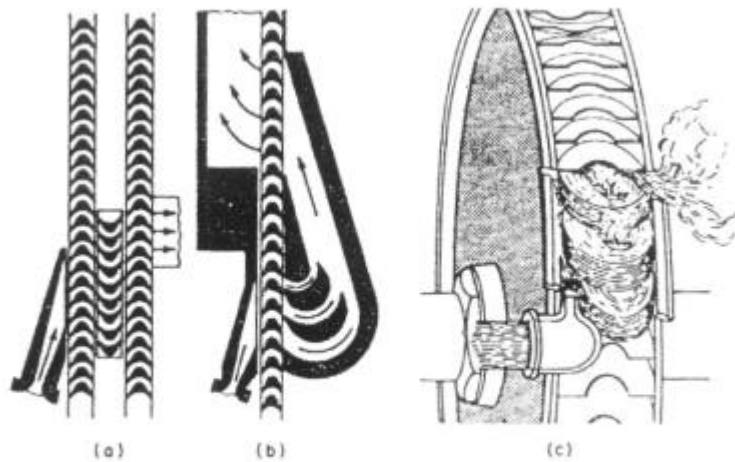


Fig. 5 Pasos compuestos en la velocidad; a) paso Curtis; el vapor fluye una sola vez a través de las paletas en movimiento, b) paso de reentrada; el vapor fluye dos veces a través de las paletas en movimiento, c) paso de reentrada; el vapor fluye tres veces a través de las paletas en movimiento.

Figura 8.1 Representación gráfica de los diferentes tipos de turbinas.

Una turbina a vapor de un solo paso es aquella en la que la conversión de la energía cinética en trabajo mecánico ocurre con una única expansión del vapor desde la entrada hasta la salida del vapor. Puede tener una o más hileras de cucharas o paletas rotatorias que absorben la energía de velocidad del vapor resultante de la expansión simple del vapor.

Existen en una variedad de diámetro de la rueda, esto es entre 0.23 y 0.7 m (30 a 700 mm). La eficiencia total de una turbina para una velocidad de operación y para condiciones particulares del vapor depende normalmente del diámetro de la rueda.

La eficiencia generalmente aumentará con una ampliación en el tamaño de la rueda, por lo tanto, la cantidad de vapor usado será menor.

Las turbinas a vapor con ruedas de mayor diámetro se pueden equipar: con más boquillas para proporcionar un aumento en la capacidad de flujo de vapor y consecuentemente, para mayores potencias, en consecuencia el tamaño de la turbina generalmente aumentará al incrementar la potencia.

8.11 Función y operación de las partes de la turbina de un solo paso.

La cámara de vapor y la carcaza contienen el vapor que se suministra a la turbina y están conectadas a la línea de suministro de vapor de alta presión y a la salida del vapor a baja presión, respectivamente. La cámara de vapor, que a su vez está conectada a la carcaza, aloja la válvula de regulación y a la válvula de disparo por sobre velocidad. La carcaza contiene el rotor y las boquillas a través de las cuales el vapor se expande y se dirige contra las paletas rotatorias.

El rotor está compuesto por el eje y el disco con las paletas. El eje se extiende más allá de la carcaza y a través de los alojamientos de los cojinetes. Un extremo del eje se usa para acoplarlo a la máquina a mover. El otro extremo del eje sirve a los sistemas de regulación de velocidad y de disparo por sobre velocidad.

Los prensa estopas de sellado de la carcaza sellan la carcaza y el eje con anillos de carbón segmentados, sostenidos posteriormente con resortes.

El sistema de gobernación (regulación) consta normalmente de pesos rotatorios con resortes opuestos, una válvula reguladora de vapor y un sistema de servomotor.

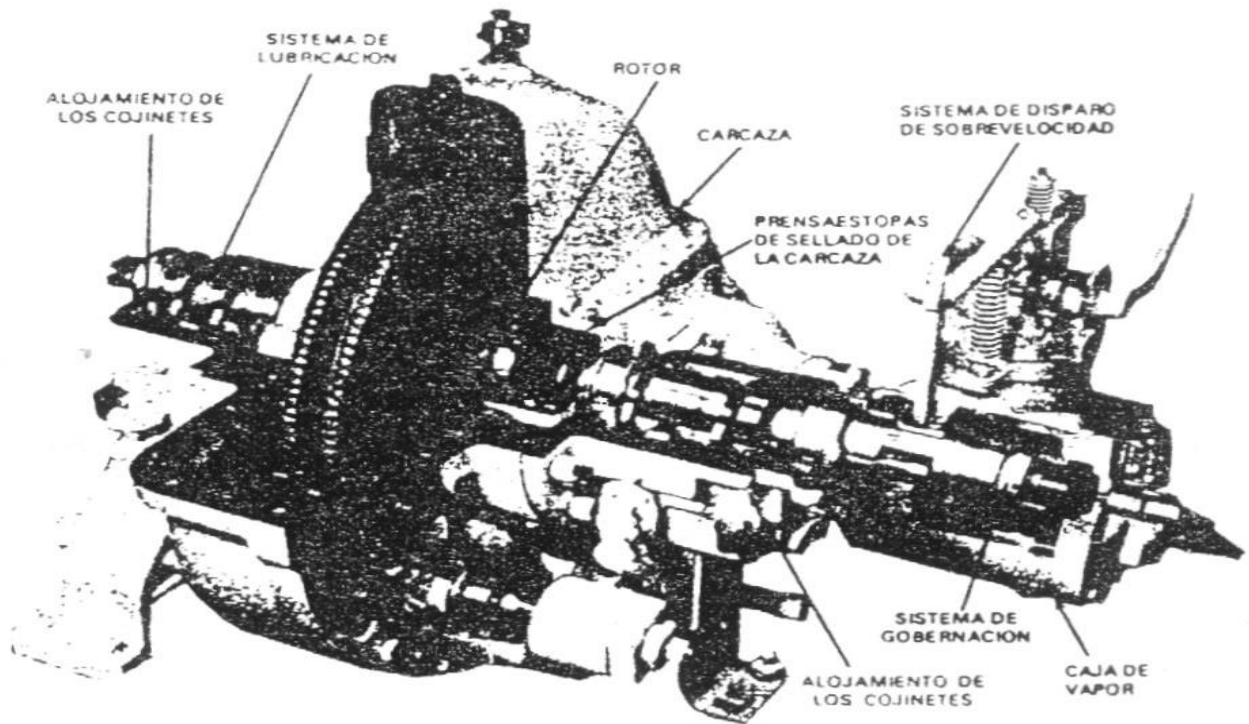


Figura 8.2 Partes que componen una turbina a vapor.

8.12 Funcionamiento del sistema de disparo.

Normalmente consta de un pasador con resorte o un peso montado en el eje de la turbina, una válvula de cierre rápido y las interconexiones de unión. La fuerza centrífuga creada por la rotación del pasador en el eje de la turbina excede la carga del resorte a una velocidad. El movimiento resultante del pasador de disparo origina que los filos de cuchilla se separen en la unión y permitan que la válvula accionada por resortes se cierre.

La válvula de disparo se puede cerrar desenganchando los filos de cuchilla manualmente, con una señal eléctrica o neumática, por medio de presión de aceite o por medio de alta presión de vapor a la salida de la turbina.

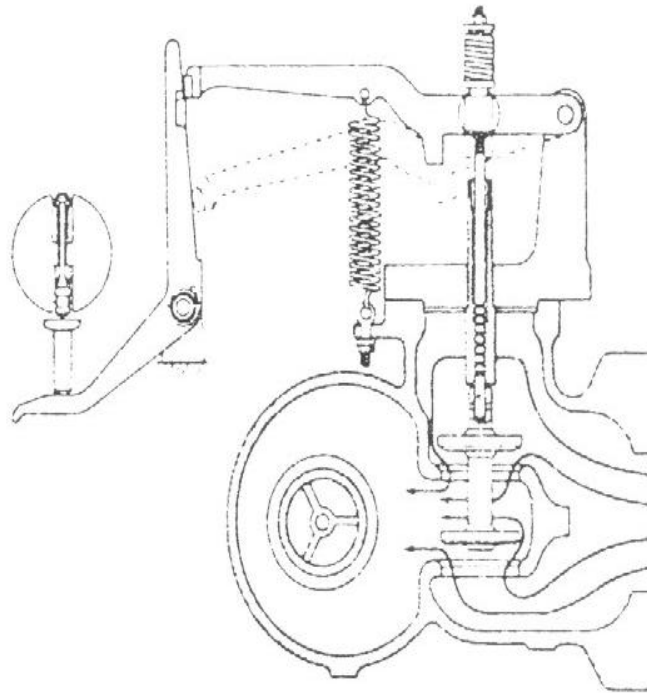


Figura 8.3 Sección de un sistema de disparo por sobrevelocidad para turbinas.

8.13 Sistemas de Lubricación.

El sistema de lubricación con anillos de aceite emplea un anillo o anillos de aceite que giran sobre el eje, con la porción inferior sumergida sobre el aceite que está contenido en el alojamiento de cojinete. Los anillos rotatorios transfieren aceite del recipiente a las chumaceras del eje de la turbina.

Un sistema de lubricación a presión consta de una bomba de aceite conducida por el eje de la turbina, un recipiente de aceite, un enfriador tubular de aceite y un filtro de aceite con tuberías de interconexión.

8.14 Turbinas de pasos múltiples.

Las turbinas de pasos múltiples se fabrican en una variedad más limitada de tamaño de rueda. La eficiencia de las turbinas de pasos múltiples se pueden modificar, básicamente, variando el número de pasos.

Cuando la energía total disponible del vapor origina una velocidad en el vapor, mayor que el doble de la velocidad de las paletas (usando los tamaños convenientes de ruedas), entonces, una turbina de pasos múltiples será más eficiente.

En una turbina de pasos múltiples, la expansión total del vapor se divide entre los diversos pasos de impulso para producir la velocidad deseada en el vapor para cada hilera de paletas.

Las turbinas de paso múltiple generalmente se utilizan cuando el costo del vapor o el suministro disponible de vapor requiere eficiencias de turbina que son mayores que las disponibles en una turbina de un solo paso. También cuando el flujo de vapor requerido para desarrollar la potencia deseada excede la capacidad de las turbinas de un solo paso. Las turbinas de pasos múltiples pueden equiparse con una o varias válvulas de regulación.

Las turbinas a vapor pueden conectarse directamente al eje de la máquina, de manera que la turbina opere a la velocidad de la máquina o pueda moverla por medio de un reductor de velocidad (o también incrementador de velocidad), para permitir que la turbina opere a una velocidad más eficiente.

En estas turbinas el vapor se expande solo en las boquillas fijas y la energía cinética se transfiere a las paletas rotatorias a medida que el vapor golpea sobre ellas, mientras fluye por los pasajes entre las paletas.

La presión del vapor es constante y la velocidad relativa del vapor con respecto a las paletas decrecen en los pasajes de las paletas.

En las turbinas de reacción el vapor se expande tanto en las boquillas fijas como en las paletas rotatorias.

La energía cinética se transfiere a las paletas rotatorias mediante la expansión del vapor en los pasajes entre las paletas. La presión del vapor disminuye a medida que la velocidad relativa del vapor con respecto a las paletas aumenta.

8.15 Gobernadores.

Los sistemas de regulación son sistemas de control sensibles a la velocidad que forman parte integral de una turbina de vapor.

La velocidad de la turbina se controla variando el flujo de vapor a través de la turbina, mediante la posición de la válvula de regulación. Las variaciones en la potencia requerida por la carga y los cambios en las condiciones en la entrada o en la salida del vapor altera la velocidad de la turbina, originando que el sistema de regulación responda para corregir la velocidad de operación.

La parte sensible a la velocidad del sistema de regulación de velocidad es normalmente un juego de pesos rotatorios cargados con resortes. El movimiento de los pesos, causado por un cambio de la velocidad de la turbina, origina el movimiento de la válvula de regulación a través de unas conexiones adecuadas.

8.16 Eficiencia de turbinas.

Una turbina a vapor se evalúa normalmente empleado, en vez de la eficiencia, el consumo específico de vapor o sea la cantidad de vapor que requiere la turbina para producir la potencia específica por hora, a la velocidad especificada. El consumo específico de vapor es una función directa de la eficiencia de la turbina.

Mientras mayor es la eficiencia menor es el consumo específico de vapor y viceversa.

El consumo específico real de vapor para una turbina es mayor que el consumo específico teórico debido a las pérdidas que tiene lugar en la turbina al convertir la energía disponible en trabajo mecánico.

8.17 Razones que justifican el uso de las turbinas a vapor.

a) La generación económica de vapor requiere con frecuencia presiones de calderas a vapor que están muy por encima de las que se usan para diversos propósitos en una planta en operación. El vapor también se puede usar a dos o más niveles de presión dentro de la misma planta. La reducción de presión se puede efectuar por medio de válvulas, de estaciones reductoras o del uso de una turbina a vapor.

La reducción de presión mediante el uso de una turbina a vapor y en consecuencia, el desarrollo de potencia para mover una máquina, permite menores costos de servicio.

b) Una máquina movida por una turbina a vapor, se puede operar dentro de la gama amplia de velocidad utilizando el sistema de gobierno de la turbina, La operación en velocidades variables es una característica inherente de las turbinas a vapor y no requiere el uso de dispositivos especiales para variar la velocidad, como en el caso de otras unidades motrices.

La operación a potencia reducida, pero a velocidad constante se permite también por el regulador de velocidad que estrangula el vapor hacia las boquillas, a medida que la potencia se reduce. La eficiencia se puede mejorar equipando a la turbina con válvulas a vapor auxiliares que se cierran durante la operación a potencia reducida. Al cerrar estas válvulas se reduce el área disponible de las boquillas y se reduce la caída de presión a través de la válvula de regulación.

c) El uso de una unidad motriz con turbina a vapor permite la operación de la máquina en forma independiente del suministro eléctrico o del sistema de distribución. La turbina a vapor no se ve afectada por los paros o interrupciones de energía eléctrica. Por lo tanto, las operaciones críticas pueden mantenerse bajo tales circunstancias usando una unidad motriz con turbina a vapor.

d) Una turbina se puede usar como una unidad motriz secundaria para una máquina. El diseño particular de la planta puede no proporcionar vapor suficiente para que la máquina sea movida por la turbina a vapor. Si embargo, el caso de una falla en potencia eléctrica o de un disturbio en el sistema se puede emplear una turbina a vapor como segunda unidad motriz o para mover una bomba separada que asegure la operación continua hasta que se reestablezca la energía eléctrica.

e) Los controles de la turbina a vapor, sistema de regulación y sistema de disparo sobre la velocidad, son inherentemente a prueba de chispas. Por consecuencia, las turbinas a vapor pueden emplearse para mover máquinas en una amplia variedad de atmósferas peligrosas, sin adicionar costos adicionales de construcción a prueba de explosión o de chispa.

f) Las turbinas a vapor normalmente se pueden alterar para lograr un incremento en capacidad para una mayor salida o nuevas aplicaciones de la máquina movida por la turbina.

g) Las turbinas a vapor son inherentemente autolimitantes con respecto a la potencia desarrollada. No es necesario que tengan dispositivos especiales de protección para evitar el daño debido a condiciones de sobrecarga.

La máxima potencia que puede desarrollar una turbina es una función de las áreas de flujo previstas en el diseño del anillo de boquillas y de las válvulas de regulación. La aplicación de una carga mayor de la que puede desarrollar una turbina origina una disminución en la velocidad, a un valor en el cual el par generado por la turbina corresponde al requerido por la máquina.

8.18 TRAMPA DE VAPOR.

Válvula automática fijada a una cámara de vapor, que es capaz de distinguir entre vapor y condensado, reteniendo el primero y descargando este último.

Grupos principales de trampas

- Termostática (diferencias de temperatura)
- Mecánica (movimiento mecánico por la acción de un flotador o un balde).
- Termodinámica (diferencia de presión-velocidad).

Para nuestro caso el tipo de trampa de vapor a utilizar es una mecánica de balde invertido, la cual funciona así:

En este tipo de trampa, la fuerza de operación es suministrada por el vapor que entra en el balde invertido y provoca que este flote en el condensado que llena la trampa. Al entrar vapor, el balde "A" está abajo y la válvula "B" abierta. Primero entra aire a la trampa por "E"; sale por el orificio "C" y se descarga a través de "B".

Seguido del aire llega el condensado a la trampa, el nivel de agua sube dentro de la trampa, tanto dentro como fuera del balde. El aire presente es obligado a salir por el orificio, el balde todavía está en el fondo, la trampa ahora está llena de agua y descargando condensado. A continuación viene vapor, obliga al balde a flotar y se cierra la válvula "B", la trampa ahora está cerrada. Si llega más condensado a la trampa el vapor es obligado a salir a través de "C" y el balde se hunde abriendo la válvula de nuevo.

Si no llega condensado por cierto tiempo, parte del vapor en el balde se condensa y parte pasa a través del orificio "C" y se condensa, por lo tanto, el balde se hunde y la válvula se abre.

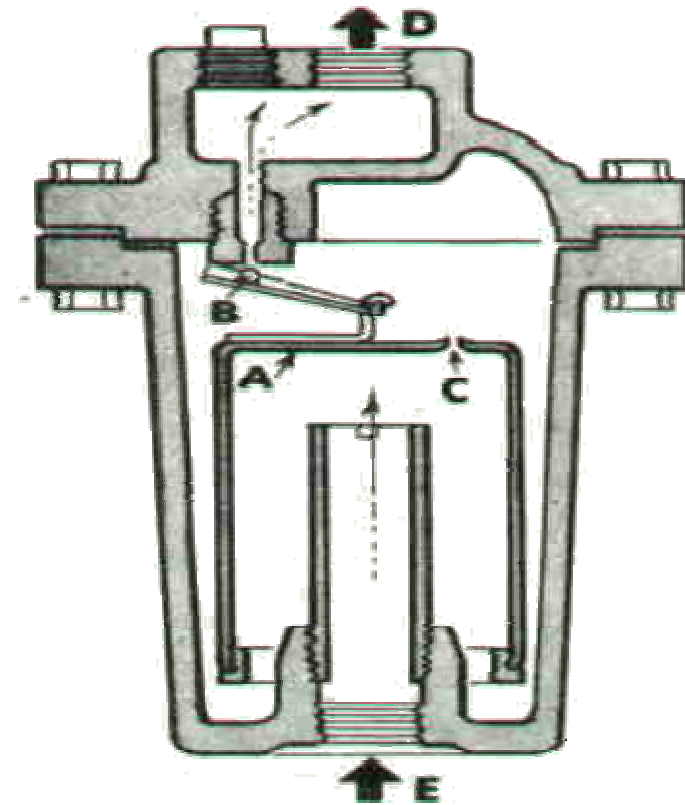


Figura 8.4 Vista del funcionamiento de la trampa de vapor.

Entre algunas ventajas podemos encontrar:

- Casi no hay fallas mecánicas.
- Pueden resistir golpes de ariete (a menos que sean muy fuertes).
- Se encuentran para altas presiones y vapor sobrecalentado.

Las desventajas encontradas podrían ser:

- Su descarga de aire es muy lenta.
- Es posible que en la trampa falle su sello hidráulico y se pierda vapor.¹⁵

¹⁵ Tomado del Folleto de Trampas de Vapor, por Juan Rojas V.

CAPÍTULO IX
RECOMENDACIONES.

9.1 RECOMENDACIONES.

Es importante delimitar el espacio y confeccionar un croquis donde se instalarán los equipos para que no quede tan reducido el área a la hora del montaje y mantenimiento respectivo, y así evitar problemas en el momento del montaje como los que se presentaron.

Eliminar, en la medida de lo posible, la caída del bagazo ya que este podría interferir en la lubricación de los bearings, pudiendo esto provocar que se fundan o rayen las chumaceras, esto conllevaría a destapar la bomba y cambiarlas o rellenarlas con babbit.

Elevar la velocidad de gobernación para garantizarse el buen funcionamiento de la bomba de lubricación interna, ya que una buena lubricación es vital para la vida útil de los bearings.

Construir un cajón hermético para evitar la contaminación del gobernador electrónico, por el bagazo o algún líquido que se derrame ya que está situado justo debajo del tanque de almacenamiento de agua . En la época de invierno quitarlo para que no se moje porque está instalado a la intemperie.

La identificación de las tuberías es necesaria. Sería importante coordinar con el ingeniero en seguridad para emplear el código de colores utilizado en la empresa en el sistema de tuberías. Ahorraría tiempo en localización de las mismas.

Dar el mantenimiento adecuado ya que es un equipo de segunda mano, y el grado de corrosión que presentaba era alto, por lo tanto, una pintura anticorrosiva y de alta temperatura como la de minio, sería la más adecuada.

CAPÍTULO X
CONCLUSIONES.

10.1 CONCLUSIONES.

Conocí a fondo las partes de una turbina accionada por vapor, ya que tuve la oportunidad de armar y desarmarla. Además, razonar el por qué de cada parte de la turbina aplicando cada uno de los conocimientos adquiridos en la universidad y en el quehacer diario del trabajo.

La importancia del funcionamiento de los sellos de carbono y el cuidado en su correcta posición de trabajo, Tienen la particularidad de que todos parecen iguales cada uno viene señalado por puntos en donde deben situarse. Están seccionados en tres partes y sujetos con un resorte para que no sea necesario levantar todo el eje para hacer algún otro cambio requerido.

La alineación mediante el gramil es la más apta para evitar vibraciones en el equipo. Recordemos que trabajará a 3600 rpm, es una alta velocidad y debemos evitar al máximo las vibraciones.

Al necesitar agua del río Tempisque para el funcionamiento, viene con muchas hojas pequeñas que puedan colarse por los filtros principales y no queremos que esta tubería se bloquee. La utilización del strainer es imprescindible para la evacuación de materia extraña en la tubería de agua para el enfriamiento del aceite.

El enfriamiento propio del lubricante de la turbina no es suficiente para garantizar una baja temperatura de trabajo, esto se pudo determinar en las pruebas realizadas al equipo por lo que se tuvo que instalar un intercambiador de calor adicional.

La programación fue fácil una vez obtenidos los parámetros óptimos de funcionamiento de la turbina, además probarla era algo que tenía que hacerse antes de terminar la zafra para poner a prueba otros equipos. Debía de hacerse en la zafra activa porque se necesitan de muchas personas para el cuidado de todos los detalles.

En este tipo de trabajo, es importante contar con la presencia de profesionales y personas experimentadas, si no se hubiera presentado de esta manera el avance habría sido lento. Se requirió la participación de los Departamentos de Instrumentación, Eléctrico, Cogeneración de Vapor y Mecánico para el funcionamiento del equipo. La relación teórica-práctica es una buena fórmula para el éxito.

La utilización de los recursos naturales responsablemente trae riqueza, trabajo y bienestar para un pueblo. Dada las condiciones de trabajo, es factible tener cuatro calderas trabajando, Azucarera El Viejo S.A. aprovecha la explotación en el uso de las turbinas a vapor.

CAPÍTULO XI
OBJETIVOS.

OBJETIVOS.

11.1 OBJETIVO GENERAL.

Crear, por medio del estudio previo, el manual de pasos de arranque y pare del turbo-generador #1 de la empresa.

11.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

Desarmar el turbo-generador #1 para observar sus partes internas y poder desarrollar un criterio técnico a la hora de tomar decisiones importantes.

Levantar el plano de enfriamiento de aguas para el aceite, generadores y condensación.

Confeccionar el manual de arranque y pare del turbo-generador #1 de condensación.

Estudiar las fortalezas y debilidades que pueda presentar el turbo-generador durante la zafra.

Recomendar las mejoras que se consideren técnicas para el funcionamiento del mismo.

CAPÍTULO XII.
SITUACIÓN ACTUAL.

PROYECTO ADMINISTRATIVO.

12.1 SITUACIÓN ACTUAL.

Al ser una empresa con grandes demandas de electricidad ésta no podría suplir sus necesidades mediante la empresa encargada en la provincia(CoopeGuanacaste R.L), además, se requiere aprovechar al máximo los recursos de la empresa, por lo que se utiliza como combustible para las calderas el bagazo, que es la última fibra que sale de los molinos, luego se genera vapor. Entre sus usos, se utiliza para los turbo-generadores que son para suplir electricidad para todo el ingenio, campo y cogeneración eléctrica nacional.

Una vez estudiado los manuales del turbo-generador e informándome por medio de los encargados de velar que la máquina trabaje, en condiciones óptimas, pude establecer las fortalezas y debilidades que podría presentar el turbo-generador durante la zafra, además, puntualizar las mejoras que se le puedan hacer durante el tiempo de reparación.

Por lo tanto, el manual de arranque para el turbo-generador #1 de la empresa Azucarera El Viejo S.A sería:

1. Arrancar la bomba eléctrica de aceite auxiliar. Debe alcanzar una presión de 2.75 bar (40 psi).
2. Abrir válvula alimentadora de vapor para arrancar la turbina de la bomba de aceite auxiliar. Debe alcanzar una presión de 3.44 bar (50 psi).
3. Chequear la presión en los manómetros.
4. Chequear que esté vacío el condensador. Se puede apreciar en la mirilla o en la computadora del Panel de Control.
5. Arrancar las bombas de agua del condensador. Las dos grandes.
6. Abrir válvulas de enfriamiento de aceite y turbo-generador.

7. Arrancar la bomba de agua del inyector para vacío.
8. Abrir válvula a vapor del inyector para vacío.
9. Calentar turbo-generador, durante 30 minutos aproximadamente.
10. Cerrar las purgas a la atmósfera. Son tres.
11. Arrancar la bomba de condensados.
12. Rodar el turbo a 500 rpm, durante 30 minutos aproximadamente.
13. Abrir la válvula de sellos de agua para el vacío.
14. Dar velocidad lentamente hasta su régimen de trabajo, el cual es de 3600 rpm.
15. Abrir completamente la válvula principal de entrada de vapor.
16. Acercar los álabes a la tobera.
17. Probar la velocidad de disparo del turbo-generador. Debe estar aproximadamente a 3750 rpm.

El manual de pare del turbo queda así:

1. Quitar la carga conectada al turbo-generador.
2. Desconectar la excitatriz.
3. Disparar el turbo-generador y luego cerrar, rápidamente, la válvula principal de vapor.
4. Retirar los álabes de la tobera.
5. Cerrar la entrada de agua y vapor del inyector.
6. Esperar a que pare el turbo-generador y parar las bombas de agua para la condensación y enfriamiento del aceite.
7. Apagar la bomba de condensados.
8. Cerrar el agua de vacío de las chumaceras.
9. Abrir las purgas a la atmósfera.
10. Parar las dos bombas auxiliares de lubricación del turbo-generador.



Foto 12.1 Mantenimiento del turbo-generador #1.

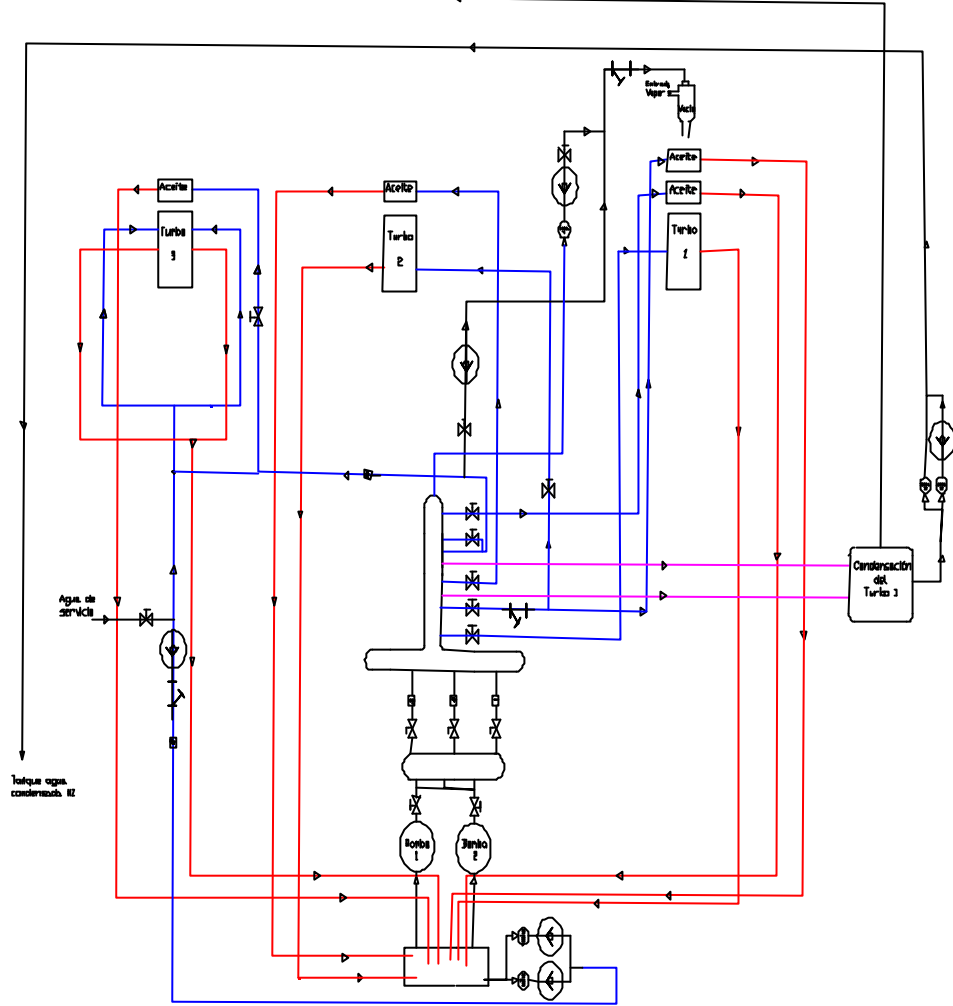
Para la elaboración del diagrama de aguas de enfriamiento de aceite, turbo-generador y condensación de los turbo-generadores se contó con la colaboración del señor Mario Ochoa Rodríguez, quien cuenta con más años de experiencia en la empresa.

Este estudio es sumamente necesario, ya que no se cuenta actualmente en la empresa con este diagrama, además de ser máquinas que trabajan las 24 horas y no están exentas a que alguna bomba sufra algún desperfecto mecánico, entonces, a la hora de tomar decisiones sobre las acciones a realizar con la ayuda de este diagrama, pueden ser más rápidas las medidas.

A pesar de que cada bomba cuenta con una de respaldo y del buen mantenimiento que se le da en el tiempo de reparación, éstas podrían presentar desperfectos no visibles por el ojo humano, sino hasta que suceda la falla esta puede ser perceptible en los termómetros que se tienen en la tubería de lubricación, o tocando el agua en la pileta del desagüe, el operador sabe, por experiencia, qué tan caliente sale el agua después de intercambiar calor con los aceites o el generador de la máquina. Además, de la buena lubricación de las chumaceras de babbit, el aceite debe entrar a baja temperatura para evitar que se fundan las mismas o que cambie la viscosidad del aceite. Otra función es brindarle enfriamiento a los generadores y condensación del vapor, esto con el turbo-generador #1 nada más, ya que los otros dos tienen una presión de escape de 1.37 bar (20 psi), y no son de condensación.

A continuación se presenta cómo están distribuidas las tuberías de enfriamiento de los turbo-generadores.

Hacia torres de enfriamiento



CAPÍTULO XIII
JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.

13.1 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.

Lo primero que debemos considerar: ¿Qué es y para qué sirve en la empresa un turbo-generador ?.

La planta de fuerza de vapor para obtener energía de alta calidad del combustible, por medio de la combustión externa o ciclo de vapor, el proceso necesita una gran cantidad de equipo, si la transformación de la energía se debe efectuar con la mayor eficiencia posible.

Una planta de fuerza moderna representa una gran inversión en literalmente miles de objetos separados, sin embargo, casi todos ellos funcionan para transformar o transmitir energía. Las transformaciones ocurren cuando se le cambia de una a otra. Estas son: energía química latente en energía térmica por oxidación; energía térmica en trabajo mecánico por la expansión de un medio fluido; trabajo mecánico en energía eléctrica por medio del electromagnetismo de un generador; energía eléctrica en trabajo mecánico en motores eléctricos y electricidad.

Las transmisiones de energía son igualmente numerosas, la energía calorífica transmitida de fluido a fluido en los generadores de vapor, en los condensadores, enfriadores y calentadores y llevada por estos fluidos de lugar a lugar por las tuberías de la planta y sistemas de ductos, la energía eléctrica transmitida por conductores que comprenden los múltiples circuitos de los sistemas eléctricos, etc.

Cuando todo se considera como una planta, que tiene por finalidad el producir ciertas corrientes de energía que como resultado final produzcan el cambio favorable de una porción considerable de material de baja calidad en la producción de energía eléctrica para un sistema de servicios públicos.

La turbina salió de la mano de sus inventores como una máquina ya muy perfeccionada, y las mejoras subsecuentes han sido principalmente perfeccionamientos en los detalles y la construcción de grandes unidades a bajos costo. La turbina es el corazón de la estación eléctrica de vapor. La caldera y el condensador son aparatos para transferir el calor, uno opera en el extremo de alta temperatura y el otro en el extremo de baja; la turbina, sin embargo, es el aparato que utiliza el calor. La caldera y el condensador transmiten la energía calorífica de un medio a otro, pero la turbina transforma la energía, de térmica a mecánica.

El trabajo de la turbina es teóricamente mucho más difícil y los resultados, en consecuencia, mucho menos impresionantes que los de sus compañeros, la caldera y el condensador.

Sin embargo, las condiciones en las que se efectúan la transformación de la energía en el ciclo de vapor demuestran que la turbina es en realidad una máquina muy perfecta.

Enseguida el par motor se transmite directamente al rotor del generador eléctrico y se emplea en vencer el arrastre producido por la atracción electromagnética que forma parte del funcionamiento del generador, en el que se consume la energía del par motor y se produce una corriente de electrones a un potencial eléctrico, que representa energía eléctrica. En esta forma se puede transportar a largas distancias, especialmente si se sube su voltaje con transformadores. Esta es la corriente de energía principal, pero hay muchas corrientes de energía secundarias que intervienen en aumentar el rendimiento de energía de alta calidad, haciendo indispensable, aparatos auxiliares esenciales.

13.2 Aplicaciones de la turbina a vapor

Este motor tan versátil es capaz de casi un sinnúmero de aplicaciones. Es una fuente de potencia práctica cuando se construye en tamaño tan pequeño como las de 5 hp o tan grandes como las de 100 000 hp, es relativamente silenciosa y de operación suave. Su compactidad no tiene rival en el campo de las grandes capacidades y puede operarse a velocidades giratorias que permitan su conexión directa a generadores de construcción económica. Sin embargo, la turbina no deja de tener inconvenientes. No es reversible. Sus consumos de vapor son altos, a menos que se use condensación. Disminuye de eficiencia si se usa con condiciones del vapor que no sean las correspondientes a su proyecto. Por el contrario, la máquina de combustión interna no es una fuerza de planta completa, si no está asociada a un generador de vapor.

No obstante, estas desventajas, la turbina puede clasificarse como el motor principal tomando como base la capacidad instalada en las plantas de fuerza estacionarias.

Recordando los conocimientos fundamentales de la turbina, principalmente, por lo que se refiere a sus modalidades en el flujo de vapor en el que la energía térmica se transforma en energía cinética en las toberas, transmitiendo subsecuentemente el par motriz a la flecha por medio de las paletas de la turbina.

Las partes principales de la turbina a vapor son:

1. Rotor. Este es el principal elemento en movimiento de una turbina. En las de impulso consiste en un eje en el que se montan ruedas que llevan las paletas. El rotor de una turbina de reacción es un tambor. Será escalonado o cónico para aumentar de diámetro hacia el extremo de baja presión.

2. Cubierta. Esta es el principal elemento estacionario, llamado a menudo cilindro. Rodea al rotor y contiene, en el interior, las toberas, paletas y diagramas que puedan ser necesarios para controlar la trayectoria y estado físico del vapor en expansión. Los cojinetes, aparatos auxiliares, y las tuberías de vapor están unidos a la cubierta o forman parte integral de ella. También tiene la forma necesaria para ser la armazón principal y soporte de la turbina armada. Cuando se hace recorrer al vapor dos o más cilindros se llaman turbina combinada.

3. Cojinetes. Los cojinetes principales de una turbina de un solo cilindro son en número de dos, colocados por el lado de afuera del prensa-estopas. La mayor parte de los muñones giran en cojinetes sencillos de babbit. Algunas turbinas pequeñas tienen una aceitera de anillo con sus depósitos de aceite, otros usan los sistemas de las grandes turbinas de usar sistemas lubricadores de presión. El empuje lo soportan cojinetes especiales (planos o de bolas). Cuando se producen grandes empujes extremos, como en el caso de las turbinas de reacción, se neutralizan principalmente por medio de placas de equilibrio empujadas por el vapor que van en el rotor.

4. **Empaques de la flecha.** En los lugares en que la flecha sale de la cubierta es necesario poner un dispositivo que impida la salida del vapor a alta presión y la entrada de aire en el extremo que está al vacío. En las turbinas pequeñas que se operan sin condensación, esto se evita por medio de empaques en forma de anillos; sin embargo, no son muy prácticos si el diámetro de la flecha es grande. Las empaquetaduras laberínticas con escapes para el vapor en el extremo de alta presión y cierres de vapor o de agua en el extremo del condensador, son los que se emplean en todas las turbinas grandes. Las turbinas de impulso de varias etapas deben también tener empaquetaduras en la flecha y los diafragmas.

5. **Control del vapor.** La cantidad de vapor que entra a una turbina estacionaria se regula generalmente de manera de que produzca una velocidad giratoria constante en presencia de una demanda de potencia variable. Esto es lo que sucede en el caso de que la potencia se use para la generación eléctrica. El control se hace variando la cantidad y presión del vapor que circula por la turbina. Si el control de cantidad puede emplearse solo, mejor, pero la turbina tiene toberas de tamaño fijo y el método más práctico de variar la cantidad es por control de la presión. En las turbinas grandes la potencia se varía con el mínimo de estrangulamiento subdividiendo las toberas de la primera etapa en grupos que funcionan en consecuencia al ir aumentando la carga. Sin embargo, después de la primera etapa siempre está en funcionamiento todo el grupo de toberas, y la presión, lo mismo que la cantidad es variable cuando la potencia cambia.

En una instalación típica la tubería de vapor que va a la turbina contiene una o más válvulas de compuerta para poder aislar la turbina de la tubería maestra del vapor. Estas válvulas están completamente abiertas cuando se prepara la máquina para arrancarla. Enseguida está la válvula de entrada a la turbina. Esta se opera a mano y se usa para regular la velocidad de arranque de la turbina. Cuando la turbina se ha calentado y ha alcanzado su velocidad, esta válvula se deja completamente abierta.

Puede construirse dentro de la misma válvula de entrada una válvula con mecanismo disparador de cierre o conectarse una válvula separada de este tipo enseguida de la anterior. Esta válvula se dispara si la turbina se desboca debido a algún defecto del regulador. También se puede conectar de manera que se dispare en otras emergencias como cuando halla agua en las tuberías de extracción, cuando baje el voltaje en el generador, cuando baje la presión de aceite, etc. Al salir de válvula de emergencia, el vapor pasa por la válvula del regulador y luego dentro de las toberas de la primera etapa en las turbina, después de lo cual sigue su expansión a través de la turbina ya sin ningún control, excepto en dos casos: (1) en las turbinas de extracción a presión constante, que tienen válvulas internas reguladas automáticamente en la trayectoria del flujo de vapor, en el punto de extracción; (2) la dilución del vapor parcialmente dilatado, con vapor a alta presión derivado de la entrada a puntos de las etapas intermedias. Esta derivación se hace bajo el control del regulador y es un método para subir o bajar la carga con respecto a la potencia producida por la expansión sin ninguna estrangulación.

6. Sistema de lubricación. Se necesita aceite para la lubricación de los cojinetes. La mayoría de las turbinas emplean el mismo sistema que pone a presión el aceite, tanto para la lubricación de los cojinetes como el servomotor que opera el regulador.

Una bomba de aceite integral, movida por la flecha principal, da presión al aceite que se usa en los reveladores y para los cilindros que operan la válvula del regulador. El mismo aceite, cuando se reduce algo la presión sirve para circular en los cojinetes. En este sistema se incluye un depósito de aceite, un filtro de aceite y un enfriador de aceite. Algunas veces se usa una bomba movida por separado de emergencia, porque si falla el abastecimiento principal de aceite en una turbina grande, los cojinetes se destruirían antes de que el rotor se parara, aunque hubiera sido descubierta la falla inmediatamente y que la válvula de emergencia se hubiera disparado. Esto se debe al almacenamiento enorme de energía en el pesado rotor que gira a 1800 o 3600 rpm.

Las turbinas pueden tener todos los elementos antes señalados y todavía variar en algunas otras cosas aparte del tamaño.

7. Potencia nominal. Las turbinas para propulsión mecánica se marcan en hp; las unidades turbo-generadoras en KW. No existe ninguna potencia interna comparable a los hp indicados en las máquinas, aunque el producto del par motriz por la velocidad del rotor es la potencia interna.

La potencia nominal es la capacidad de potencia declarada que se espera que sea la carga máxima. La capacidad de una turbina es el rendimiento máximo continuo garantizado por el fabricante para una turbina limpia, operando con las condiciones especificadas del vapor a la entrada y en el escape, con extracción completa en todos los puntos de extracción si los tiene. La diferencia entre la capacidad y la capacidad nominal se considera que es su capacidad de sobrecarga.

La eficiencia máxima, generalmente, ocurre cerca del punto nominal, porque los métodos para lograr la máxima capacidad se oponen con el flujo aerodinámico del vapor en la turbina. En muchos casos, el punto nominal ocurre cuando la admisión es completa en la primera etapa de la turbina, la sobrecarga se obtiene derivando el vapor de la entrada a las etapas siguientes. Esto, sin embargo, no siempre se hace y algunas turbinas con las admisiones completas en sus primeras etapas a unas potencias del 80 al 90% de la nominal.

Una costumbre común ha sido designar una turbina por su capacidad del 125% de su potencia nominal y ponerle un generador que absorba la potencia nominal con un factor de potencia del 0.80%. Elevando el factor de potencia a la unidad, el generador absorberá la capacidad completa de la turbina.

8. Unidades patrones. Cuando una clase de equipo tiene una venta en diferentes tamaños, variando las condiciones de operación, es posible hacer una sucesión sin fin de proyectos a la medida, que difieren en detalles entre sí, que necesitan de muchos proyectos individuales, moldes de fundición, cálculo de rendimientos, etc. Después de alguno años de experiencia en la fabricación, las partes interesadas, a menudo, formulan proyectos tipos para (1) reducir el costo inicial de los compradores, (2) reducir el número de tamaño de partes en existencia, y (3) reducir el tiempo entre las entregas y los contratos.

Por lo que corresponde a los turbo-generadores de tamaño pequeño (hasta los 7500 KW) ya se han establecido hace tiempo en los proyectos tipos de la NEMA. Más recientemente un comité compuesto de AIEE- ASME ha establecido los proyectos tipos preferidos para los turbo-generadores grandes de 3600 rpm, de 60 ciclos, con condensación, especificando no solamente una serie de capacidades sino también las condiciones apropiadas del vapor que deben acompañarlas, estos tipos de proyectos, no son obligatorios para el comprador, porque se cree de los intereses del promedio de los propietarios se sirven mejor cuando se hacen pedidos de acuerdo con las preferencias que estos tengan.

CAPÍTULO XIV
RECOMENDACIONES.

14.1 RECOMENDACIONES.

En el momento de poner en marcha-para del turbo-generador, la persona encargada debe seguir el manual en su debido orden. Una correcta manipulación de este manual evitará accidentes o desperfectos en el equipo, que debido a su complejidad es de sumo cuidado saber dónde están cada una de las bombas, botoneras, válvulas, manómetros que se vayan a utilizar.

Enviar al Departamento de Instrumentación al finalizar cada zafra, los manómetros, para calibrar los equipos y no tener lecturas falsas. Cambiar los manómetros que estén deteriorados y poner marcas en la carátula de los termómetros y manómetros para ver su debido rango de operación.

Capacitación constante a los encargados de velar por el buen funcionamiento de los turbo-generadores, además de los ingenieros en la empresa y jefes de turno y recalcar algún cambio que se haga al sistema durante el turno de trabajo de cada operador.

Instalar otra bomba de condensación para que opere de respaldo. Actualmente trabajan las dos al mismo tiempo, y si se daña alguna poner en funcionamiento la de respaldo, mientras se le dé el mantenimiento correspondiente a la bomba que presenta problemas.

Debido a las condiciones de conexión, el turbo-generador #2 y el #3 no pueden trabajar al mismo tiempo, entonces, se recomienda hacer un by-pass para aprovechar las bombas del turbo-generador #3, para que trabaje con el #2 y dejar las bombas grandes de condensación sólo para la operación del turbo-generador #1.

En el panel de control de encendido y apagado de las bombas colocar un letrero que indique cuál botonera corresponde a cada bomba porque con el que se cuenta en la actualidad está muy deteriorado.

CAPÍTULO XV
CONCLUSIONES.

15.1 CONCLUSIONES.

El manual de arranque-para debe ser para personas calificadas y con experiencia en la manipulación de estos equipos. En estas empresas se tienen máquinas de gran valor económico, por lo tanto, si se le quiere dar una larga vida útil a los mismos se debe contar con manuales de manipulación, además, de su debido mantenimiento durante la zafra inactiva.

Los turbo-generadores deben de ser las máquinas a las que se les haga primero el debido mantenimiento. Por ser equipos tan viejos no se tienen repuestos en stock y si en algún momento se necesitara de alguna pieza, se cuenta con bastante tiempo para hacer el pedido o mandar a hacer la pieza utilizando mantenimiento de terceros.

El Departamento de Cogeneración de Vapor debe otorgar al encargado de los turbo-generadores una bitácora para anotar todas las eventualidades o cualquier falla en los equipos y tener una base de datos para poder dar seguimiento y hacer las mejoras necesarias en el tiempo de reparación.

Según el Ministerio de Trabajo, debe existir un Plan de Emergencia en caso de terremoto. Los ingenieros deben asignar a los encargados de los equipos una tarea en específico, y los colaboradores, además de cumplir deben practicar para que en el momento de un sismo apliquen su tarea asignada, saber cuánto duran y determinar la ruta de evacuación.

Dado que son máquinas complejas debe darse capacitación continua a los operadores. Reunirse con ellos para determinar las mejoras o cambios oportunos sería una buena práctica porque son los que velan por el buen funcionamiento y entre más fácil sea la tarea para ellos más disponibilidad y deseos de hacer las cosas tendrán los trabajadores.

Las recomendaciones anotadas deben cumplirse para que el Manual Arranque-Pare tenga el éxito deseado. Este estudio teórico-práctica fue probado en el período de la zafra activa. Además, las mejoras recomendadas en las tuberías de enfriamiento de los turbos están justificadas y aprobadas por el Superintendente del Ingenio.

CAPÍTULO XVI
BIBLIOGRAFÍA.

La Gaceta número 65 del día jueves 2 de abril de 1998.

Frederick T. Morse M. Centrales Eléctricas. 1984.

Manual Fundamentos de la Gobernación de Velocidad. Systech ; Systech

automação e control LTDA.

Programa para cálculo de trampas de vapor Marca Armstrong Internacional.

(ARMSTRONG SOFTWARE PROGRAM 1).

Reglamento de Calderas, decreto 26789 y sus Reformas.

Rojas, Juan V. Folleto de Trampas de Vapor; ITCR, Cartago, Costa Rica.

Rojas, Juan V. Folleto de Turbinas de Vapor y de gas; ITCR, Cartago, Costa Rica.

Rojas, Juan V. Calderas. principios básicos. tipos. tratamientos de agua. ajuste de

combustión y mantenimiento; ITCR, Cartago, Costa Rica.

Quirós, Carlos (2003); *Curso: Máquinas de vapor*; ITCR, Cartago, Costa Rica.

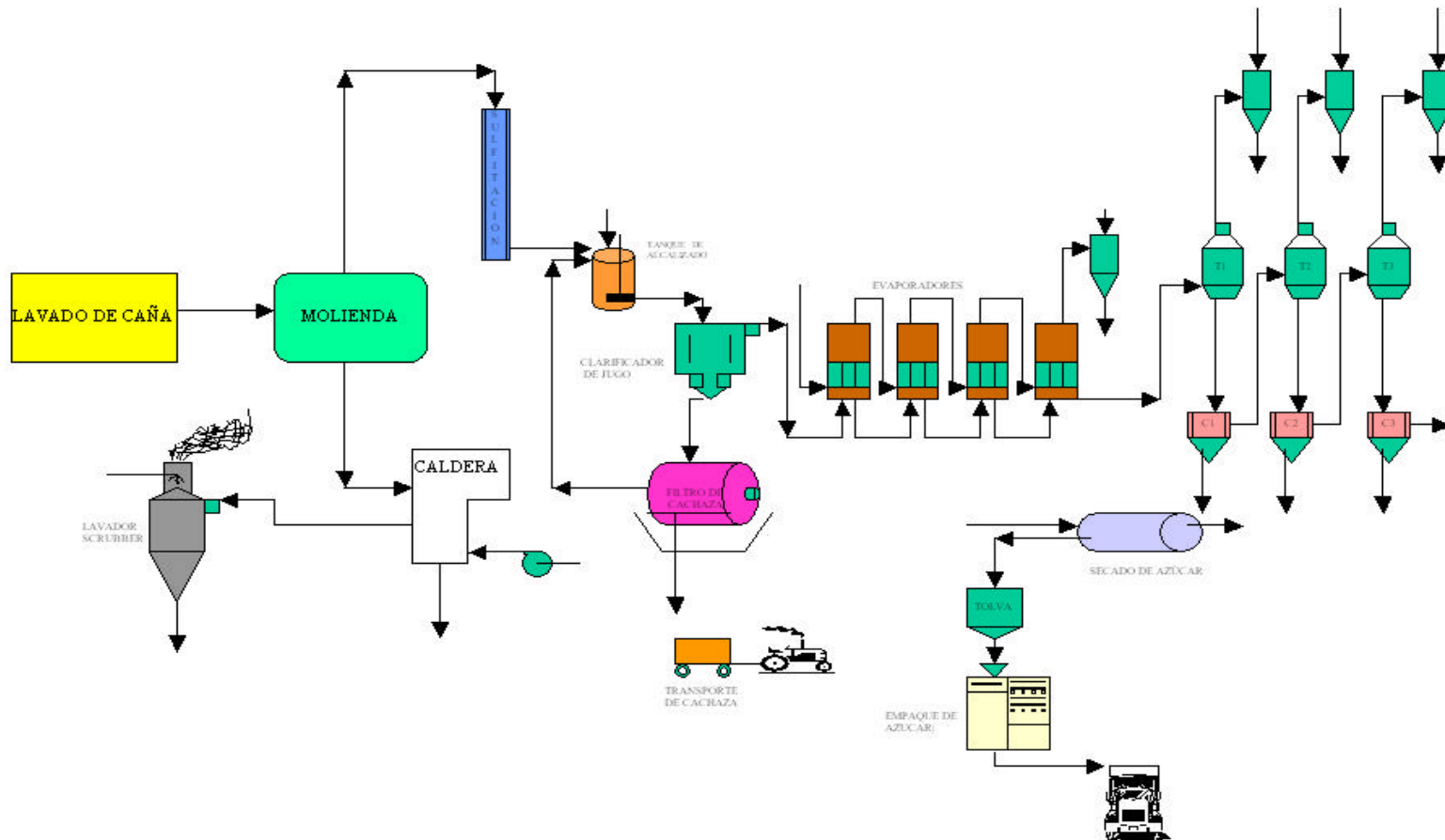
Selmec Equipos industriales SA; *Manual Selmec de Calderas Cleaver Brooks*;

México.

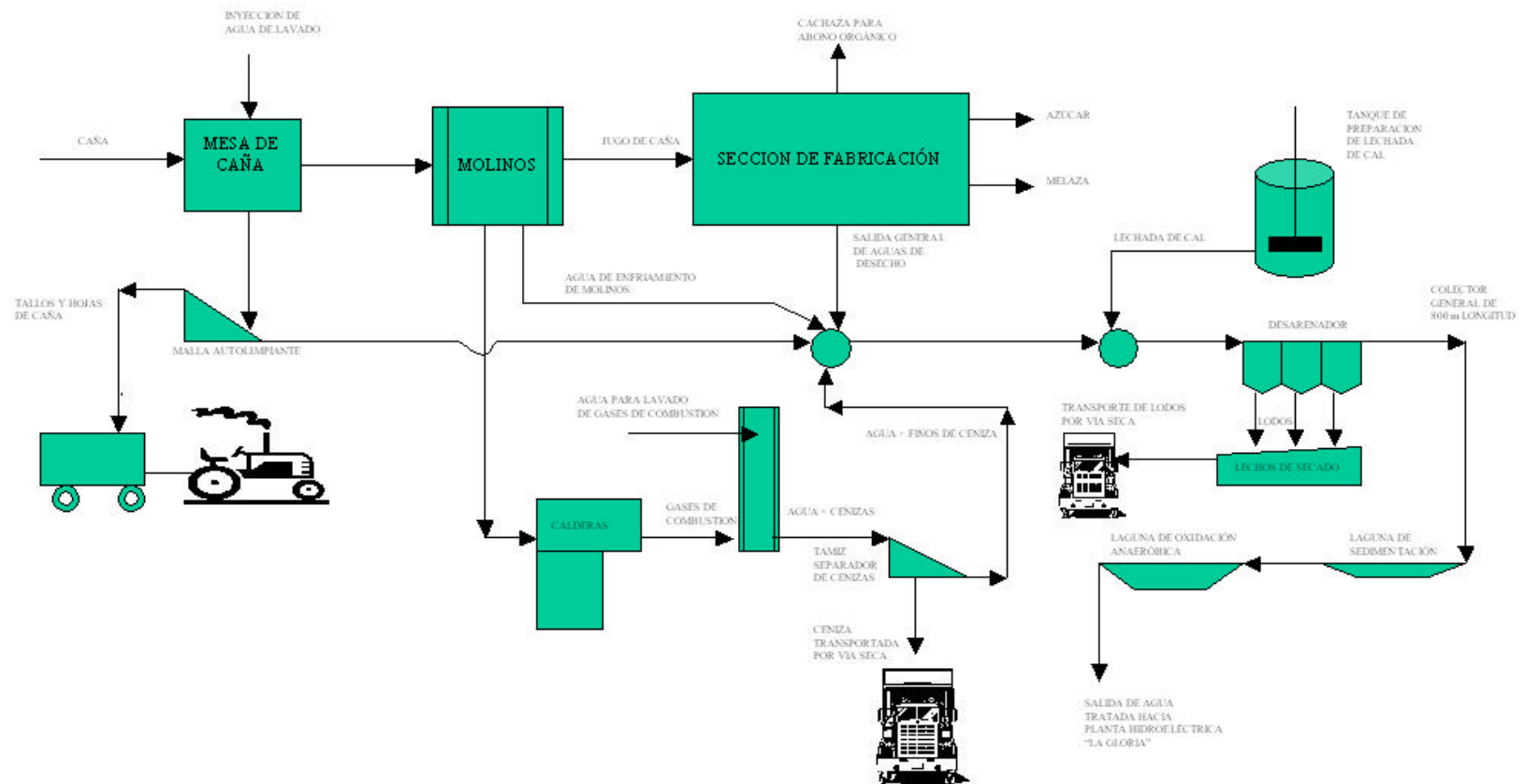
www.noria.com.

CAPÍTULO XVII
ANEXOS, APÉNDICES.

DIAGRAMA DE PROCESO DE PRODUCCION DE AZÚCAR DE CAÑA



SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS





AZUCARERA EL VIEJO S.A.

Prevención de Riesgos Laborales



Tel. : 688-8000

Fax: (506) 688-8195 (506) 688-8669

Apdo.: 62-5050 Filadelfia, Guanacaste

Utilización de Colores según Norma Oficial N°12715-MEIC



Tuberías	Color	Especificación	Muestra
Tuberías para vapor	Aluminio	37 180 115 100	
Tuberías para agua fría	Verde	Protecto 629	
Tuberías para agua caliente	Verde celeste	Protecto 133	
Tuberías para aire y aire comprimido	Azul	Protecto 323/Glidden 832	
Tuberías para ácidos / soda / líquidos	Amarillo tránsito	Sur	
Tuberías para electricidad	Gris		
Tuberías para aceites / combustibles	Café		
Tuberías para jugo crudo	Verde John Deere	37 180 100 295	
Tuberías para jugo cristal	Blanco	Glidden 820 / Protecto 300	

Tuberías para jugo claro crudo	Amarillo		
Tuberías para jugo claro cristal	Amarillo		
Tuberías para meladura cruda	Anaranjado	Protecto 543	
Tuberías para meladura cristal	Anaranjado con franjas blancas	Glidden 820 / Protecto 300	
Tuberías para mieles / masas / magma	Rojo		
Turbinas	Azul	Protecto 117	

Los tanques se pintarán según el color de la tubería respectiva.

1. Las franjas o grupos de franjas se pintarán a una distancia máxima de 6 metros entre sí en los tramos rectos, a cada lado de las válvulas, de las conexiones, de los cambios de dirección de la tubería y junto a los pisos, techos o paredes que atraviesen la misma.

2. El ancho de las franjas, con relación al diámetro exterior de la tubería se realizará según la tabla:

Diámetro exterior del tubo (cm)	Ancho de franja de color (cm)
3.8 a 5.10	20,3
6.3 a 5.3	30,5
20.3 a 25.4	61,5
25.4 o más	91,5