



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**DISEÑO, MONTAJE Y OPERACIÓN DE UN MOTOR ELÉCTRICO EN
SUSTITUCIÓN DE UNA TURBINA DE VAPOR DE 200 PSI, EN EL ÁREA DE
MOLINOS, TANDEM A, EN EL INGENIO AZUCARERO SANTA ANA**

Gelver Danilo Cárdenas Ruano

Asesorado por el Ing. Jaime Humberto Batten Esquivel

Guatemala, noviembre de 2007

UNIVERSIDAD DE SAN CALOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO, MONTAJE Y OPERACIÓN DE UN MOTOR ELÉCTRICO EN
SUSTITUCIÓN DE UNA TURBINA DE VAPOR DE 200 PSI, EN EL ÁREA DE
MOLINOS, TANDEM A, EN EL INGENIO AZUCARERO SANTA ANA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

GELVER DANILO CÁRDENAS RUANO

ASESORADO POR EL ING. JAIME HUMBERTO BATTEN ESQUIVEL

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2007

UNIVERSIDAD DE SAN CALOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. José Francisco Gómez Rivera
EXAMINADOR	Ing. Jaime Humberto Batten Esquivel
EXAMINADOR	Inga. Norma Ileana Sarmiento Zeceña
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO, MONTAJE Y OPERACIÓN DE UN MOTOR ELÉCTRICO EN
SUSTITUCIÓN DE UNA TURBINA DE VAPOR DE 200 PSI, EN EL ÁREA DE
MOLINOS, TANDEM A, EN EL INGENIO AZUCARERO SANTA ANA,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, el 6 de noviembre de 2005.

Gelver Danilo Cárdenas Ruano

ACTO QUE DEDICO A:

- DIOS** Fuente de amor y sabiduría.
- MI PADRE** José Cupertino Cárdenas Rodríguez, por todo su amor, esfuerzo entregado para salir adelante en la vida y sobre todo, porque **“largo es el camino de la enseñanza por medio de teorías; breve y eficaz por medio de ejemplos”**, Séneca.
- MI MADRE** Ana Floridalma Ruano Jerez, por su amor, comprensión y apoyo que me a brindado durante toda la vida.
- MIS HERMANAS** Brenda Analy, Astrid Victoria y Flor de Maria Cárdenas Ruano, por su cariño y por todo el tiempo compartido.
- TODA MI FAMILIA
EN GENERAL** Respetuosamente.
- MIS AMIGOS** Por su apoyo y comprensión.
- USTED** Con mucho aprecio y respeto.

AGRADECIMIENTO ESPECIAL A:

DIOS

Por sus bendiciones e iluminar mi vida.

La universidad de San Carlos de Guatemala, por su aporte al desarrollo de la educación.

Inga. Hilda Beatriz Marroquín Suárez, por la ayuda brindada para la elaboración del presente trabajo.

Luís Fernando Alvarado Arroyo, por su amistad y ayuda desinteresada en la realización del presente trabajo.

MIS

CATEDRÁTICAS

Dora Virginia Porras Porras e Irma Violeta Yac Mulul, por transmitirme sus sabios conocimientos.

Al Ingenio Santa Ana.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN	XV
OBJETIVOS	XVII
INTRODUCCIÓN	IXX
1. INFORMACIÓN GENERAL DE LA EMPRESA	1
1.1. Antecedentes	1
1.1.1. Reseña histórica	1
1.1.2. Visión	2
1.1.3. Misión	3
1.1.4. Servicios que presta	3
1.2. Estructura de la empresa	6
1.3. Proceso de producción del azúcar	8
1.4. Ubicación	10
2. MARCO DE REFERENCIA	11
2.1. Calderas de vapor	11
2.1.1. Partes de una caldera	11
2.1.1.1. Cámara de agua	11
2.1.1.2. Cámara de vapor	13
2.1.2. Tipos de calderas	13
2.1.2.1. Calderas acuotubulares	13

2.1.2.2. Calderas pirotubulares	14
2.1.3. Descripción del generador de vapor en un ingenio azucarero	15
2.2. Turbinas de Vapor	16
2.2.1. Turbinas de tipo de impulso o acción	16
2.2.2. Turbinas de tipo reacción	17
2.2.3. Otros tipos de turbinas	17
2.2.4. Rendimiento de las turbinas de vapor	17
2.3. Turbogeneradores	19
2.3.1. Funcionamiento de un turbogenerador con condensador	20
2.3.2. Generadores sincrónicos	20
2.3.3. Generadores enfriados por aire	21
2.3.4. Generadores enfriados por hidrogeno	22
2.4. Motores eléctricos	23
2.4.1. Motores de inducción	23
2.4.2. Circuito equivalente de un motor de inducción	24
2.4.3. Características de troqué-velocidad	25
2.4.4. Arranque de motores de inducción	26
2.4.4.1. Corrientes de arranque	29
3. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA	31
3.1. Análisis del consumo de vapor en el área de molinos	31
3.1.1. Área	31
3.1.2. Descripción del proceso	32
3.1.3. Diagrama de proceso	33
3.1.4. Diagnóstico de la situación actual	34
3.1.5. Diagrama causa-efecto	36
3.1.6. Condiciones de seguridad	37
3.1.7. Personal de mantenimiento	39

3.2. Análisis de emisión a la atmósfera de partículas de bagacillo	40
3.2.1. Descripción del proceso de combustión del bagacillo de caña en una caldera	41
3.2.2. Descripción del sistema actual de descarga de humo por las chimeneas	42
3.2.3. Diagrama causa-efecto	43
4. DISEÑO, MONTAJE E INSTALACIÓN DEL MOTOR ELÉCTRICO DE INDUCCIÓN	47
4.1. Propuesta	47
4.2. Cálculo para la selección del motor	47
4.2.1. Potencia requerida	48
4.2.2. Velocidad de operación	50
4.2.3. Par de arranque necesario	50
4.2.4. Condiciones del ambiente	50
4.2.5. Características de alimentación eléctrica	50
4.3. Montaje del motor	52
4.3.1. Cimentación	52
4.3.2. Pernos de anclaje	53
4.4. Acoplamiento y alineación del motor	58
4.4.1. Alineación del motor con acople directo	58
4.4.1.1. Alineamiento paralelo	58
4.4.1.2. Alineamiento angular	59

5.	GUÍA DE MANTENIMIENTO PARA EL MOTOR ELÉCTRICO	63
5.1.	Plan de mantenimiento	63
5.1.1.	Frecuencia de mantenimiento	63
5.1.2.	Procedimiento de mantenimiento	64
5.1.3.	Lista de repuestos	64
5.2.	Análisis VOSO	66
5.2.1.	Ver	66
5.2.2.	Oír	66
5.2.3.	Sentir	67
5.2.4.	Oler	67
5.3.	Mantenimiento preventivo	69
5.3.1.	Limpieza	69
5.3.2.	Lubricación	71
5.3.3.	Pruebas de funcionamiento	73
5.3.4.	Pruebas de aislamiento	74
5.3.5.	Ficha técnica	74
6.	EVALUACIÓN TÉCNICO ECONÓMICA	77
6.1.	Análisis económico del proyecto	77
6.1.1.	Costos de producción de vapor	82
6.1.2.	Costos de generación eléctrica	86
6.1.3.	Costos de inversión del proyecto	89
6.2.	Análisis costo – beneficio del proyecto	91
6.2.1.	El valor presente neto	92
6.2.2.	La tasa interna de retorno	95

7. DISEÑO DE UN SISTEMA PARA LA REDUCCIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL PROVOCADO POR LA EMISIÓN DE PARTÍCULAS DE BAGACILLO EN LAS CHIMENEAS DE LAS CALDERAS	97
7.1. Descripción de colector de partículas	97
7.1.1. Collectores húmedos	98
7.1.2. Tipos de colectores húmedos	98
7.1.2.1. Collectores de baja energía	98
7.1.2.2. Lavadores de energía media o scrubbers	100
7.1.2.3. Aglomeradores de alta energía	100
7.2. Ley de protección y mejoramiento al medio ambiente	102
7.3. Reglamento de requisitos mínimos y límites máximos permisibles de contaminación para la descarga de aguas servidas	105
7.4. Contaminación del medio ambiente por la utilización del bagazo como combustible en las calderas	107
7.5. Características del sistema de descarga	108
7.5.1. Temperatura	108
7.5.2. Velocidad	109
7.5.3. Presión	110
7.6. Diseño del sistema	111
7.6.1. Materiales y accesorios a utilizar	114
CONCLUSIONES	117
RECOMENDACIONES	119
BIBLIOGRAFÍA	121
APÉNDICE	123

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Organigrama funcional división industrial	8
2	Mapa de ubicación de la empresa	10
3	Circuito del ciclo Ranking	18
4	Aspecto externo de un motor inducción típico	23
5	Circuito equivalente del motor de inducción	24
6	Características torque-velocidad de un motor de inducción típico	25
7	Condiciones de arranque para dos máquinas de inducción con diferente resistencia en el rotor	27
8	Rotor devanado con anillos deslizantes y escobillas	28
9	Configuración actual del molino	32
10	Diagrama de proceso de elaboración de azúcar	34
11	Circuito de vapor utilizado en el área de producción de azúcar y generación de energía eléctrica	34
12	Diagrama causa-efecto exceso de consumo de vapor en área de extracción y molienda	37
13	Condiciones de seguridad en el área de molinos	39
14	Sistema actual de descarga de gases	43
15	Diagrama causa-efecto de mala combustión de bagazo	45
16	Sustitución de turbina por motor eléctrico	47
17	Circuito final de vapor	48
18	Perno de anclaje del motor eléctrico	52
19	Esfuerzos sobre la cimentación del motor eléctrico	53
20	Medidas para la cimentación del motor eléctrico	57
21	Arreglo del indicador para alineamiento paralelo	59

22	Arreglo del indicador para alineamiento angular	60
23	Diagrama del equipo instalado	61
24	Diagrama de líneas de alimentación eléctrica	62
25	Hoja de mantenimiento del motor eléctrico	65
26	Hoja de mantenimiento de parámetros y análisis VOSO	68
27	Hoja de la ruta limpieza de motores	70
28	Verificación de aislamiento con el megger	74
29	Ficha técnica del motor eléctrico	76
30	Circuito de vapor actual	77
31	Diagrama de flujo de efectivo	93
32	Diagrama de flujo de efectivo de proyecto	94
33	Colector de baja energía (caja de aspersion)	99
34	Colector de energía media	100
35	Colector de energía alta tipo aglomerador venturi	101
36	Separación de las cenizas atrapadas por el colector de partículas	106
37	Vista lateral del separador de partículas	110
38	Vista frontal del separador de partículas	112
39	Distribución de los aspersores del separador de partículas	113
40	Proceso de fabricación de azúcar de caña en el Ingenio Santa Ana	123
41	Deducción de la formula de torque en la salida del reductor	126
42	Procedimiento de mantenimiento según fabricante Reliance Electric	129

TABLAS

I	Tipos de aislamiento de motores eléctricos	51
II	Esfuerzos de tornillos grado SAE	54
III	Condiciones de servicio	71
IV	Frecuencia de lubricación	72
V	Volumen de lubricante	72
VI	Costo de tratamiento de agua por día para la caldera	83
VII	Costo de mano de obra por día de operación en la caldera	84
VIII	Costo de mantenimiento de la caldera	84
IX	Costo de mantenimiento de turbogenerador 15Mw	86
X	Costo de mano de obra por día de operación del turbogenerador	88
XI	Costo de equipo, materiales y mano de obra para la puesta en marcha del proyecto	89
XII	Flujo de efectivo del proyecto	93
XIII	Límites máximos permisibles de contaminación para la descarga de Aguas servidas de la industria de la caña de azúcar	106
XIV	Materiales a utilizar en la construcción del colector de partículas	114

LISTA DE SÍMBOLOS

h	Entalpía
p	Presión
V	Volumen
W	Trabajo
Q_{abs}	Calor absorbido
Q_{ced}	Calor cedido
η	Eficiencia
CA	Corriente alterna
CD	Corriente directa
HP	Caballos de fuerza
T	Torque de fuerza
ω	Velocidad angular
P	Potencia en watt
q_t	Cantidad de vapor consumida por una turbina
q_{tg}	Cantidad de vapor consumida por el turbogenerador
Q_{ah}	Cantidad de vapor ahorrado
Q_{cal}	Cantidad de vapor generador por la caldera
Kw_a	Cantidad de energía ahorrada
CM	Costo de mantenimiento de la maquinaria
CE	Costo de la energía eléctrica
CO	Costo de operación de la maquinaria
CT	Costo total
CV	Costo del vapor
TIR	Tasa interna de retorno

GLOSARIO

Alabe	Parte que compone el rotor de una turbina de vapor en donde recibe el chorro de vapor y lo convierte en energía mecánica.
Bagazo	Desecho fibroso de la caña de azúcar.
Colector	Equipos para control de emisiones contaminantes del aire.
Condensador	Recipiente que tienen algunas máquinas de vapor para que este se licue en él por la acción del agua fría.
Ciclo Rankine	Consiste en un ciclo termodinámico cerrado que consta de una caldera, una turbina, un condensador y una bomba
Chimenea	Cañón o conducto para que salga el humo que resulta de la combustión.
Estator	Parte fija de una máquina dentro de la cual gira un rotor.
Excitatriz	Es un componente de los motores eléctricos para excitar la corriente eléctrica.
Hollín	Una aglomeración de partículas de carbón.
Humo	Partículas pequeñas arrastradas por los gases que resultan de la combustión.

Maza	Elementos cilíndricos con ranuras, que se utilizan para la extracción de jugo de la caña de azúcar.
Molino	Es una máquina para moler o triturar.
Partícula	Masa discreta de materia sólida o líquida.
Potencia	Capacidad que tiene un cuerpo de efectuar un trabajo en un tiempo determinado.
Reductor	Conjunto de engranajes, acoplados entre sí, que permiten la reducción de velocidad.
Rotor	Parte giratoria de una máquina eléctrica o de una turbina.
Tamden	Una batería de molinos.
Ventilador	Instrumento o aparato que impulsa o remueve el aire.
Zafra	Época en la cual se puede cosechar la caña de azúcar. Normalmente entre los meses de noviembre a mayo.

RESUMEN

Este trabajo de graduación fue desarrollado a través del programa de E.P.S en el Ingenio Santa Ana, con el objetivo de poner en práctica los conocimientos adquiridos en la carrera de Ingeniería Mecánica Industrial.

Antes de la década de los ochenta, la Agroindustria azucarera, para operar, necesitaba mover su maquinaria a partir de turbinas de vapor. Esto era en ese entonces, una forma de ahorro de energía eléctrica, ya que, el negocio de la cogeneración todavía no era la principal visión de los empresarios. En las industrias de proceso, como en la del azúcar, se utilizan grandes cantidades de vapor, pudiéndose generar energía eléctrica como subproducto en cantidad considerable, elevando la presión en la caldera por encima de la presión del proceso y expandiendo el vapor en una turbina sin condensación antes de descargarlo al proceso.

El mayor consumo de vapor es el área de molinos, en donde se encuentran instaladas las turbinas de vapor las cuales se utilizan para los mismos. Debido a que la eficiencia promedio de cada turbina es de 70% fue en donde se llevo a cabo el estudio de ahorro de vapor.

Como resultado del estudio se decidió sustituir las turbinas por un motor eléctrico de inducción, el cual se realiza una producción más eficiente y controlada.

Este proyecto es factible para la empresa, como se puede observar en el estudio económico, se obtiene un excedente de energía que puede ser entregada a la empresa eléctrica.

OBJETIVOS

General

Optimizar el uso de vapor en el área de molinos, a través de la sustitución de una turbina de vapor por un motor eléctrico de inducción, y asimismo incrementar la cogeneración eléctrica.

Específicos

1. Implementar la utilización del motor eléctrico de inducción, siendo este un equipo más seguro y eficiente, que representa menores costos de operación y mantenimiento.
2. Disminuir los costos de operación en el área de molinos y a la vez incrementar la cogeneración, para obtener mayores utilidades.
3. Evaluar el costo-beneficio obtenido del ahorro de vapor del área de molinos de caña de azúcar, para determinar el tiempo de recuperación de la inversión realizada por el Ingenio.

INTRODUCCIÓN

Hasta hace 10 años, los motores eléctricos no eran frecuentemente utilizados para el accionamiento de los molinos de caña, sin embargo, actualmente, para una producción más eficiente y mejor controlada, es una necesidad. El bajo costo de mantenimiento, el control preciso de la velocidad y sentido de rotación de estos motores, reducen los costos de operación respecto a los de una turbina de vapor.

El presente proyecto se realizó en el Ingenio Santa Ana, S.A. y para definir sus necesidades fue necesario conocer su estructura organizacional y su funcionamiento, así como el proceso de producción de azúcar. La descripción del equipo utilizado para la implementación del proyecto y el análisis de la situación actual de la empresa.

Al determinar y analizar el proceso de molienda, se decidió la sustitución de la turbina de vapor por un motor eléctrico de inducción, para lo cual se realizó el diseño, montaje e instalación del mismo. Además, de elaborar una guía de mantenimiento que permita el adecuado funcionamiento del motor. Al implementar la utilización del motor eléctrico, se hace la evaluación técnico económica y así, establecer los costos de producción tanto de la turbina de vapor como la del motor eléctrico para determinar el costo beneficio del proyecto.

Actualmente, el ahorro de energía eléctrica en la industria, es la palabra clave a nivel mundial. La responsabilidad social de las empresas comprende además de los beneficios económicos, la preservación del medio ambiente, por lo que se hace necesario el diseño de un sistema para la reducción del impacto

ambiental producido por las emisiones contaminantes de la quema de bagazo utilizado como combustible en las calderas para la generación de vapor.

El sector azucarero está dedicando, cada vez más esfuerzos en obtener mayor eficiencia en el ciclo térmico del proceso productivo con crecientes inversiones en calderas de mayor presión y turbogeneradores de mayor potencia con el objetivo, no solo de cubrir el consumo propio de la planta sino, que a suministrar el excedente hacia las empresa concesionarias de la distribución de energía eléctrica, la llamada así: generación eléctrica, a través de la Biomasa, o sea, el bagazo de la caña de azúcar.

1. INFORMACIÓN GENERAL DE LA EMPRESA

1.1. Antecedentes

En estos últimos años, la producción azucarera de Guatemala ha tomado más importancia, debido a que en las cosechas recientes se han alcanzado niveles récord de producción, ocupando en el último año el tercer lugar como exportador más grande de Latinoamérica y el Caribe, y el sexto en importancia a nivel mundial. Este hecho representa significativos beneficios económicos para el país, sobre todo, por la generación de divisas y por el empleo que la industria azucarera provee.

1.1.1. Reseña histórica

En 1968 un grupo de empresarios adquirió parte de los equipos de los Ingenios Santa Juana y Canóvanas de Puerto Rico, iniciándose así la construcción del Ingenio Santa Ana, en la Finca Cerritos, ubicada a 65 Km. al sur de la ciudad de Guatemala, en el departamento de Escuintla, a 220 m. sobre el nivel del mar. La primera zafra prueba se hizo en 1969/70, moliéndose 154,973.75 toneladas de caña y produciendo 239,525 quintales de azúcar en 136 días; la capacidad instalada en esa época era de 3,500 ton/día.

En 1,993 comenzó a operar la refinería, diseñada para elaborar refina de alta calidad, partiendo de la azúcar blanca sulfitada, con capacidad de 500 toneladas de azúcar por día. Cuenta con 3 tachos, 7 filtros, 6 centrífugas automáticas, una secadora y una enfriadora; años mas adelante, se instalo un clarificador de azúcar disuelta, para poder trabajar con azucares afinadas.

En el área de Cogeneración, el Ingenio Santa Ana produjo su propia energía eléctrica desde el comienzo de sus operaciones. En efecto, desde 1969 contó con una potencia instalada de 3,500 Kw., actualmente la capacidad instalada es de 53 Mw.

Las operaciones de corte de caña, se iniciaron en el período 1977/78. Se empleaban 1,200 cortadores para cortar 1,000 toneladas de caña diarias, con machete convencional. Hace seis años, se inició el programa de capacitación permanente para el corte de caña con machete australiano, habiéndose incrementado la eficiencia en el corte, la calidad de producto final, y los ingresos de los cortadores. Así también, se construyeron módulos habitacionales con todas las comodidades, para albergar a los cortadores de cuadrilla, procedentes del altiplano guatemalteco, a los cuales se proporciona alimentación abundante en proteínas, completada con sales de rehidratación oral.

En 1996, Santa Ana avanzó significativamente en sus planes estratégicos, al desarrollar una de las fábricas más eficientes, lo cuál logró colocar mayor capacidad instalada, con equipo de alta tecnología, ello apoyado por un proyecto de automatización industrial único en Centro América, alcanzando en la zafra 2004/05 una producción récord de 5,000,000 de quintales de azúcar.

1.1.2. Visión

Ser un grupo corporativo visionario, comprometido con el progreso y bienestar de Guatemala, dedicado a producir eficientemente bienes y servicios de óptima calidad, derivados de la caña de azúcar, por medio del desarrollo de los recursos humanos y tecnológicos para satisfacer las necesidades de nuestros clientes nacionales e internacionales.

1.1.3. Misión

Ser el equipo líder por excelencia en la administración estratégica de la agroindustria azucarera, competitivo en el contexto empresarial que demanda el siglo XXI, a través de un alto grado de tecnificación en todas sus áreas y un equipo humano motivado, desarrollado y visionario que se consolide como un grupo de clase mundial; superándose permanentemente por medio del mejoramiento continuo, con participación activa a todo nivel, sirviendo de modelo a otras empresas de Guatemala y Centro América para proyectarse al mundo.

1.1.4. Servicios que presta

Como muchas de las empresas, Ingenio Santa Ana tiene dos mercados hacia los cuales comercializa los diversos productos que son aceptados por su calidad.

- Mercado de exportación

a) Azúcar refinada tipo "A"

Es el azúcar de mayor calidad. Sus especificaciones técnicas son: color 0 -45 grados ICUMSA (constituye el factor mas importante para este tipo de azúcar), Pol 99.85 % mínima; humedad 0.04 %

b) Azúcar cruda

Constituye el azúcar con una Pol mínima de 97.9%

- Mercado interno

- a) Azúcar blanca standard (sulfitada)

Es el azúcar de mayor venta para consumo local. Sus características son Pol 99.4 – 99.6 %, color 180 – 400 ICUMSA, Humedad 0.20 %. Contiene vitamina A en una concentración de 12 a 20 ppm. En Santa Ana, este tipo de azúcar se envasa bajo la marca “Caña Real”.

- b) Azúcar refinada local

Es un azúcar con 0 – 80 grados ICUMSA, Pol 99.6 – 99.8 %, Humedad 0.04 %. Este tipo de azúcar es igual que la anterior, también esta vitaminada. En Santa Ana se empaca bajo la marca “Nevada”.

- c) Azúcar superior

Es un azúcar con 99.6 – 99.79 % de Pol, Humedad 0.10 %, Color 80 – 200 ICUMSA

- d) Azúcar morena

Es un azúcar con 98 – 99.4 Pol, 0.40 % Humedad y Color 400 – 800.

- e) Melaza

Se le denomina así a la miel final que se obtiene en el último agotamiento en el ciclo de mazas. Sus especificaciones técnicas son: Brix 85 % y pureza entre 30 y 35. Constituye la materia prima para hacer alcohol y rones; además se usa

para alimento de ganado. Este producto se distribuye tanto para mercado nacional como para el internacional.

f) Torta de cachaza

Constituye el lodo filtrado y lavado, producido por la precipitación en el proceso de clarificación de jugo mezclado. Sirve como fuente primaria para abonos orgánicos en la producción Agrícola

g) Energía eléctrica

Las especificaciones de este servicio es que la empresa cumpla con la cantidad de Mw. que se proyecte generar o cogenerar. Para tal efecto, Santa Ana cuenta con 6 calderas, una que se alimenta con bunker y bagazo, y otras cinco que trabajan utilizando solo bagazo. Se cuenta además con dos tipos de turbogeneradores:

- Turbos de escape: que se alimentan de vapor del ingenio y devuelven vapor al proceso.
- Turbos de condensación: que se alimentan de vapor y sacan agua condensada.

Dicha generación se efectúa a 69,000 voltios, 60 Hz, trifásica y un factor de potencia de 0.85. Actualmente, durante la época de zafra, se generan 40 Mw. de los cuales se venden 32 Mw. a la Empresa Eléctrica de Guatemala; durante la época de reparación, se mantienen disponibles con una capacidad de 25 MW.

1.2. Estructura de la empresa

Como empresa, Santa Ana esta dirigida por una Junta Directiva, se estructura en siete divisiones y el staff de la gerencia general. Esta representada por un organigrama tipo vertical dado que tiene una mejor representación administrativa.

a) Gerencia general

El gerente general es responsable de dirigir, planificar, coordinar, supervisar, controlar y evaluar las actividades de la gestión técnica y administrativa de las gerencias de división e impartir las instrucciones para la ejecución de las funciones correspondientes, además de definir e interpretar las políticas establecidas por la dirección. El correcto desempeño de estas obligaciones, requiere de un conocimiento funcional de todas las fases de la operación de la empresa, y una buena comunicación con sus subordinados.

b) División de recursos humanos

Su misión es satisfacer en forma eficaz los requerimientos del Recurso Humano adecuado mediante técnicas y procedimientos actualizados, propiciando las condiciones óptimas para su desarrollo personal y dentro de la Empresa, con el propósito de lograr la mayor eficiencia del Grupo Corporativo.

c) División agrícola y servicios

Es un equipo multidisciplinario, cuyo compromiso fundamental es el aprovechamiento integral sostenible de los recursos naturales, para producir

caña de azúcar, otros productos agrícolas, servicios de cosecha, taller y transporte.

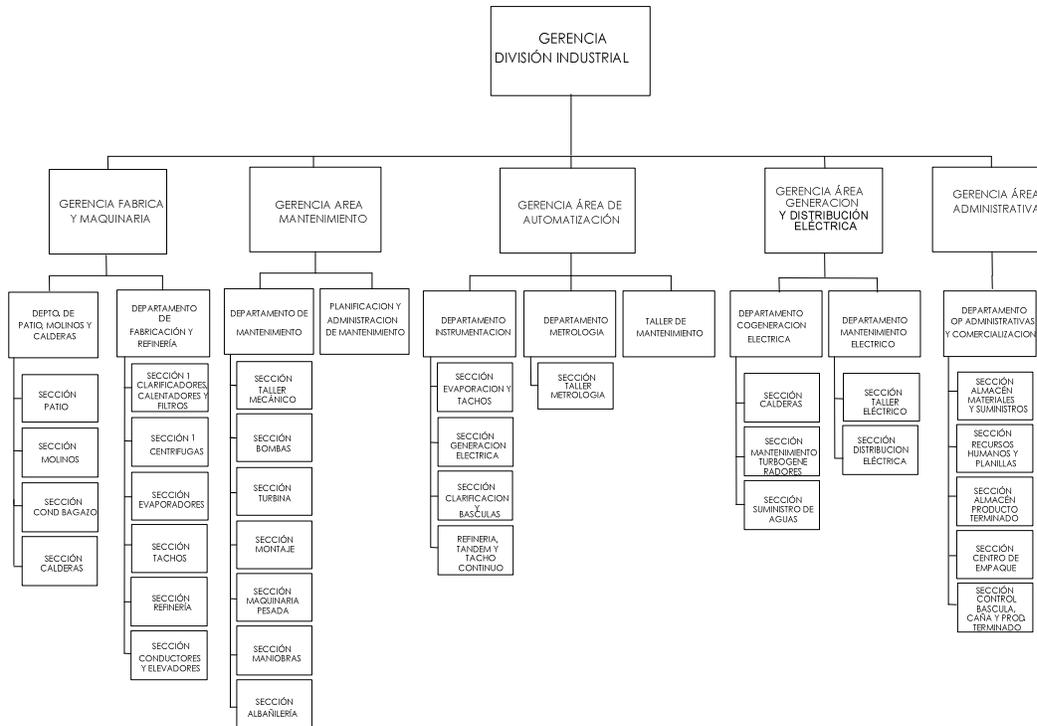
d) División administrativa

Es una División completamente de servicio, comprometida con todas las divisiones de la Corporación, a quienes asiste en sus necesidades en forma eficiente y oportuna, a través de una organización adecuada, utilizando recurso humano capacitado y tecnología para satisfacer a sus clientes.

e) División industrial

Se ocupa de la transformación de la caña de azúcar y otros insumos en productos de óptima calidad, administrando los recursos humanos, físicos y tecnológicos para satisfacer las necesidades de los clientes nacionales e internacionales.

Figura 1 Organigrama funcional división industrial¹



1.3. Proceso de producción del azúcar

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) es una planta perenne que pertenece a la familia de las gramíneas, que tiene la ventaja de ser la más eficiente por transformar la energía solar en azúcares y biomasa.

También, genera igual cantidad de oxígeno que cualquier bosque tropical. La caña cuando se planta, produce de 4 a 7 cortes anuales (retoños), sin necesidad de plantarla cada año.

¹ Organigrama Funcional, Fuente Gerencia División Industrial.

Toda la caña se corta manualmente, hay siete frentes de corte que suministran entre 7,500 y 8,000 toneladas de caña diarias. Aproximadamente existen más de 3,000 hombres dedicados al corte de caña, además de los que se dedican a las otras labores de la cosecha, como maquinaria, apuntadores, recogedores de caña, etc.

La caña llega al patio de dos formas: caña maleteada que en su mayoría es verde, sin quemar; y caña a granel, que viene en contenedores, llamados jaulas, para que puedan ser fácilmente descargados.

En el patio, la caña es pesada en las básculas y luego se descarga en las mesas de caña, donde es lavada. Después, la caña pasa por los conductores donde es transportada y preparada para que en el sistema de molienda la extracción del jugo sea fácil.

El sistema de molienda consiste de un tandem de molinos compuestos de cuatro rodillos conocidos con el nombre de mazas. Se agrega agua de imbibición para facilitar la extracción de sacarosa. La finalidad principal de los molinos es conseguir la mayor separación posible de los dos elementos de la caña: fibra y jugo. El jugo extraído es bombeado a fábrica y el bagazo es conducido a calderas para utilizarse como combustible.

Luego del molino el jugo se pasa por calentadores para subirle la temperatura, luego pasa a clarificación para sacarle los lodos en los clarificadores que trabajan por medio de decantación; el lodo es enviado a los filtros de cachaza para extraer parte del jugo. El jugo del clarificador es enviado a los evaporadores, y luego a los tachos donde se concentra la miel para formar el grano de azúcar.

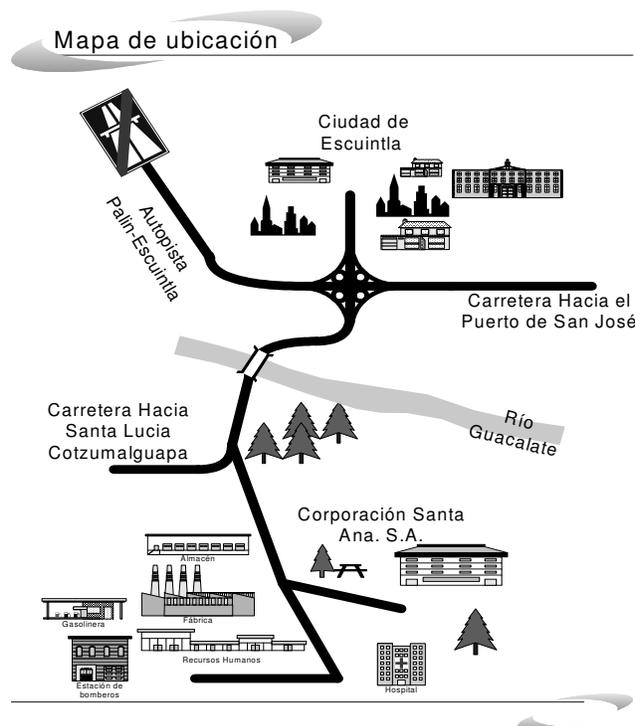
En las centrifugas se recibe la maza de los tachos; aquí se separa el grano de la miel. El azúcar es enviada a una secadora y enfriadora, luego es transportada al envasado o a bodegas a granel para su distribución.

En las calderas se genera todo el vapor necesario para el funcionamiento de las turbinas, turbogeneradores y cocimientos en el proceso de fabricación. Los hornos de las calderas son alimentados con bagazo, que es transportado por conductores de tablillas o bandas transportadoras.

1.4. Ubicación

El Ingenio Santa Ana tiene ubicada su planta productora de azúcar en el Departamento de Escuintla en el Kilómetro 64.5 carretera a Santa Lucía Cotz, interior de la finca cerritos, como a continuación se muestra en el plano.

Figura 2 Mapa de ubicación de la empresa



2. MARCO DE REFERENCIA

2.1. Calderas de vapor

Es el dispositivo utilizado para calentar agua o generar vapor a una presión superior a la atmosférica. La caldera esta constituida principalmente por dos domos, el inferior, se le llama recipiente de lodos, esta soportado a la caldera exclusivamente por dos tubos curvos que están conectados al domo superior.

En el domo superior están montados los separadores de vapor o deflectores, los cuales separan las partículas de agua y el vapor de la mezcla de ambos elementos, que desde los tubos de evaporación llegan al domo y sale al colector del sobrecalentador.

2.1.1. Partes de una caldera

Se denomina caldera, además del recipiente donde el agua se calienta para ser convertida en vapor, a todo el sistema a presión en el cual el agua se transforma en vapor, como producto final por cesión de calor de una fuente que se encuentra a temperatura superior y se encuentra dividida en:

2.1.1.1. Cámara de agua

Recibe este nombre el espacio que ocupa el agua en el interior de la caldera. El nivel de agua se fija en su fabricación, de tal manera que sobrepase en unos 15 cm. por lo menos a los tubos o conductos de humo superiores.

Con esto, a toda caldera le corresponde una cierta capacidad de agua, lo cual forma la cámara de agua.

Según la razón que existe entre la capacidad de la cámara de agua y la superficie de calefacción, se distinguen calderas de gran volumen, mediano y pequeño volumen de agua.

Las calderas de gran volumen de agua son las más sencillas y de construcción antigua. Se componen de uno a dos cilindros unidos entre sí y tienen una capacidad superior a 150 litros de agua por cada m² de superficie de calefacción.

Las calderas de mediano volumen de agua están provistas de varios tubos de humo y también de algunos tubos de agua, con lo cual aumenta la superficie de calefacción, sin aumentar el volumen total del agua.

Las calderas de pequeño volumen de agua están formadas por numerosos tubos de agua de pequeño diámetro, con los cuales se aumenta considerablemente la superficie de calefacción.

Como características importantes podemos considerar que las calderas de gran volumen de agua tienen la cualidad de mantener más o menos estable la presión del vapor y el nivel del agua, pero tienen el defecto de ser muy lentas en el encendido, y debido a su reducida superficie producen poco vapor. Son muy peligrosas en caso de explosión y poco económicas.

Por otro lado, la caldera de pequeño volumen de agua, por su gran superficie de calefacción, son muy rápidas en la producción de vapor, tienen muy buen rendimiento y producen grandes cantidades de vapor. Debido a esto requieren especial cuidado en la alimentación del agua y regulación del fuego, pues de faltarles alimentación, pueden secarse y quemarse en breves minutos.

2.1.1.2. Cámara de vapor

Es el espacio ocupado por el vapor en el interior de la caldera, en ella debe separarse el vapor del agua que lleve una suspensión. Cuanto más variable sea el consumo de vapor, tanto mayor debe ser el volumen de esta cámara, de manera que aumente también la distancia entre el nivel del agua y la toma de vapor.

2.1.2. Tipos de calderas

Como se ha mencionado anteriormente una caldera es un equipo que se utiliza para transformar el agua en vapor, pero según las exigencias del proceso depende mucho el tipo de caldera a utilizar, es por ello que existen diferentes tipos de calderas como a continuación se describen:

2.1.2.1. Calderas acuatubulares

La presión en las calderas a principios de su diseño era muy pequeña, ya que solo se contaba con la caldera de tubos de humo o como formalmente se conoce caldera Piro-tubular. El primer diseño viable de la caldera tubular, fue patentada en 1867 por los inventores estadounidenses George Herman Babcock y Stephen Wilcox. En la caldera tubular el agua recorría unos tubos calentados por gases de la combustión y el vapor se acumulaba en un tambor. Esta disposición aprovechaba el calor de convección de los gases y el calor radiante del fuego y las paredes de la caldera. La amplia aplicación de la caldera tubular se hizo posible en el siglo XX, con adelantos como las aleaciones de acero de alta temperatura y las técnicas modernas de soldadura, que convirtieron la caldera tubular en el modelo de las grandes calderas.

Las modernas calderas tubulares pueden operar a presiones de 340 atm y generar más de 4.000 toneladas de vapor por hora. Dado que la temperatura de combustión puede superar los 1.650 °C, el flujo de agua se controla mediante circulación simple o forzada. Con la utilización de los llamados supercalentadores, las calderas modernas pueden alcanzar un 90% de rendimiento del combustible. Los precalentadores calientan el aire que entra con los gases de la combustión que se descargan al conjunto; los precalentadores de agua utilizan los gases de los conductos para calentar el agua antes de introducirla en la caldera. El control de las corrientes y el tratamiento químico del agua para evitar la deposición de óxidos y la corrosión también contribuyen a la eficiencia del funcionamiento.

2.1.2.2. Calderas pirotubulares

En estas calderas los gases calientes pasan por el interior de los tubos, los cuales están rodeados de agua. Generalmente tiene un hogar integral, llamado caja de fuego, limitado por superficies enfriadas por agua.

La caldera pirotubular fija con tubos de retorno horizontales (HRT) es una combinación de parrilla, altar refractario, puertas de carga y cenicero, y cámara de combustión. Las superficies interiores de las paredes del hogar están revestidas de refractario. Los gases calientes pasan por encima del altar y lamen todo el fondo de la caldera, volviendo a la parte frontal de esta por el interior de los tubos. Finalmente los productos de la combustión pasan a la chimenea.

Estas calderas con tubos de retorno se utilizan en pequeñas centrales industriales debido a sus pequeñas capacidades de producción de vapor, presiones limitadas y baja velocidad de producción de vapor. La caldera de

vapor pirotubular está concebida especialmente para aprovechamiento de gases de recuperación presenta las siguientes características:

El cuerpo de caldera, está formado por un cuerpo cilíndrico de disposición horizontal, incorpora interiormente un paquete multitubular de transmisión de calor y una cámara superior de formación y acumulación de vapor.

La circulación de gases se realiza desde una cámara frontal dotada de una brida de adaptación, hasta la zona posterior donde termina su recorrido en otra cámara de salida de humos.

2.1.3. Descripción del generador de vapor en un ingenio azucarero

Las características de una de las 6 calderas acuotubulares utilizadas en la producción de vapor en el ingenio Santa Ana. Son las siguientes:

Marca	Bigelow
Modelo	KVS4468
Flujo de vapor	260,000 lbs/hr
Presión de vapor sobrecalentado	850 psi.
Presión máxima.	900 psi.
Temperatura de vapor sobrecalentado	900° F
Diámetro domo superior	66 plg.
Diámetro domo inferior	42 plg.
Superficie calorífica.	
Convección	18,500 pie ²
Paredes de agua	3,300 pie ²
Economizador	6,100 pie ²
Pre calentador de aire	28,500 pie ²

2.2. Turbinas de Vapor

La turbina de vapor fue el resultado del trabajo de una serie de inventores a finales del siglo XIX, entre los que destacaron Charles Parsons, responsable del denominado principio de escalones, mediante el cual se aprovecha la variación de energía interna del vapor al expandirse en varias fases, y Carl De Laval, quien fue el primero en diseñar chorros y palas adecuados para el uso eficiente de la expansión del vapor.

Las turbinas de vapor se utilizan en los procesos de producción de energía eléctrica a partir de la energía térmica y de la energía nuclear.

Su funcionamiento se basa en el principio de la Termodinámica, según el cual cuando el vapor se expande se reduce su energía interna, transformándose en energía cinética las partículas de vapor. Dichas partículas, de tamaño muy reducido, adquieren velocidades de hasta 2,900 Km./h por lo que al llegar a las palas de la turbina, le transmiten una energía de rotación muy alta.

Existen dos tipos de turbinas de vapor, turbinas de acción y turbinas de reacción:

2.2.1. Turbinas de tipo de impulso o acción

Los chorros de la turbina están sujetos a un punto dentro de la carcasa, y las palas en los bordes de ruedas que giran alrededor de un eje central. La turbina está diseñada de forma que el vapor que entra por un extremo se expande a través de una serie de boquillas, hasta perder la mayor parte de su energía interna.

2.2.2. Turbinas de tipo reacción

La energía mecánica se obtiene por la expansión del vapor. Las palas suelen montarse sobre un tambor en lugar de una rueda, actuando éste como eje de la turbina.

En ambos casos, es necesario utilizar el sistema escalonado de obtención de energía, ya que si toda la energía térmica del vapor se convirtiese de una sola vez en energía cinética, la rotación de la rueda sería excesiva.

2.2.3. Otros tipos de turbinas

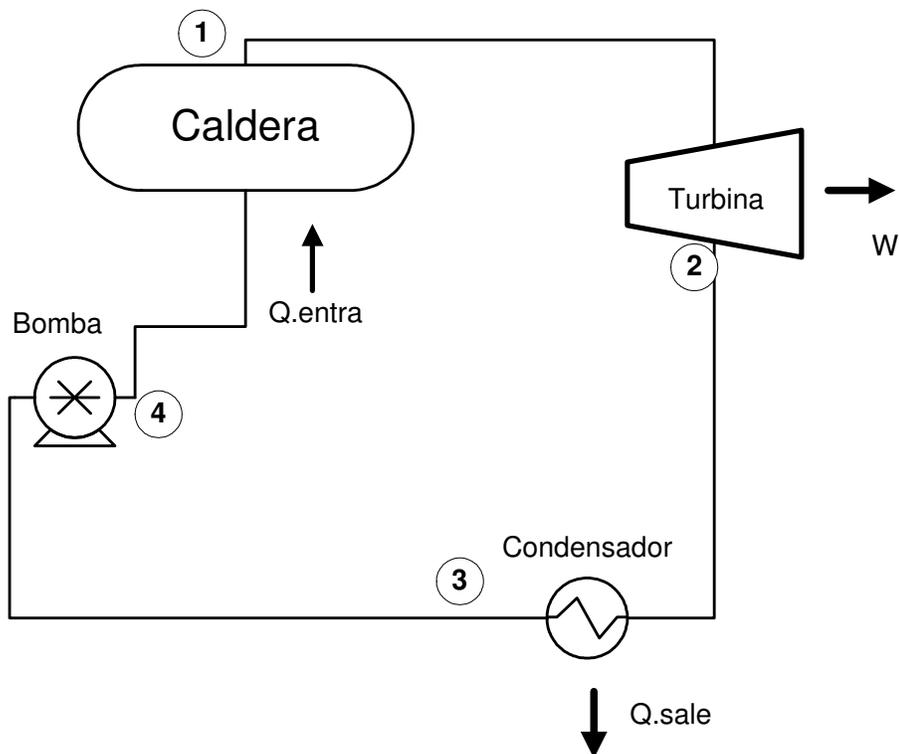
En las plantas se utilizan generalmente las turbinas de condensación o sin condensación. Las turbinas de vapor con condensación tienen una presión de salida inferior a la atmosférica, mientras que las unidades sin condensación escapan a una presión igual o superior a la atmosférica. Cuando el vapor se expande a una presión menor que la atmosférica en una turbina de vapor con condensación, su temperatura suele reducirse a menos de 54° C. En general, esa energía de baja temperatura no es útil y se clasifica normalmente como calor perdido. Por otro lado, el vapor de escape de las turbinas sin condensación tiene mayor temperatura y presión y puede resultar útil en muchos procesos industriales o usarse para calefacción.

2.2.4. Rendimiento de las turbinas de vapor

La turbina de vapor constituye la porción de expansión de un ciclo de vapor, el cual requiere de dispositivos separados, incluye una caldera, la turbina, un condensador y una bomba para alimentación de agua para completar el ciclo.

Este ciclo de vapor para las plantas generadoras de vapor recibe el nombre de ciclo de de Ranking.

Figura 3 Circuito del ciclo de Ranking



El trabajo de ciclo es igual a h_1-h_2 menos el pequeño trabajo de la bomba $h_4-h_3 = v_3(P_4-P_3)/J$ que se requiere, y el calor que se agrega al ciclo es igual a h_1-h_4 . por lo tanto:

$$Eficiencia\ de\ Rankine = \frac{(h_1 - h_2) - \frac{V_3(P_4 - P_3)}{J}}{h_1 - h_4}$$

En las industrias de proceso, como la del azúcar, se utilizan grandes cantidades de vapor. Se puede generar energía como subproducto en cantidad considerando la presión en la caldera por encima de la presión de proceso y expandiendo el vapor en una turbina sin condensación antes de descargarlo al proceso. En este ciclo, no hay rechazo alguno de calor porque el vapor de descarga o escape se aprovecha para el proceso y la eficiencia del ciclo termodinámico de esta energía solo se ve afectada por la eficiencia la caldera, perdidas auxiliares que deben de cargarse a la generación de energía (en su mayoría trabajo extra de la bomba de alimentación de la caldera), y las perdidas mecánicas y eléctricas de la turbina y el generador.

El consumo de calor de la estación de una planta de esta naturaleza, generadora de energía como subproducto, varía de 3,900 a 4,500 Btu/Kwh., dependiendo del tamaño de la planta y de la eficiencia de la caldera, son eficiencias normales del ciclo de 80 a 85%. Este consumo de calor varía muy poco con la eficiencia de la turbina, porque la energía que no se usa para generación de potencia, se utiliza para el proceso de producción de azúcar. Sin embargo, es necesario definir los kilowatts generados por unidad de calor al proceso a fin de evaluar la influencia de la eficiencia de la turbina o de las condiciones iniciales del vapor seleccionadas. Generalmente, se proporcionan índices de vapor garantizados para evaluar la eficiencia porque pueden compararse directamente con el índice de vapor teórico (TSR).

2.3. Turbogeneradores

Se utilizan para generar energía eléctrica a través del movimiento giratorio proporcionado por una turbina de vapor, gas o hidráulica.

2.3.1. Funcionamiento de un turbogenerador con condensador

La generación de energía eléctrica, se realiza por medio de un generador eléctrico de corriente alterna, el cual consta de dos partes principales que son: un estator, que como su nombre lo indica, es la parte estática donde van las bobinas del generador y un inducido o rotor, cuando este gira se genera un campo magnético e induce una fuerza electromotriz (Ley de Faraday).

Es importante mencionar que para lograr la magnetización del inducido, se emplea un generador de corriente directa (excitatriz), que va acoplado al rotor del generador (inducido) aprovechando así la energía mecánica que éste le transmite. La corriente directa generadora va a unos colectores o escobillas, que magnetizan al inducido y lo mantienen excitado. Generándose así, la Energía eléctrica de corriente alterna.

La forma de transmitir energía mecánica al rotor del generador o inducido es el aspecto que nos indica los diferentes tipos de generación eléctrica, los cuales pueden ser por medio de un motor de combustión interna, una turbina hidráulica, una turbina de gas, etc.

2.3.2. Generadores sincrónicos

El principio fundamental de operación de los generadores síncronos, es que el movimiento relativo entre un conductor y un campo magnético induce un voltaje en el conductor. Una fuente externa de energía CD o excitador se aplica a través de unos anillos colectores en el rotor. La fuerza del flujo, y por lo tanto, el voltaje inducido en la armadura se regulan mediante la corriente directa y el voltaje suministrado al campo. La corriente alterna se produce en la armadura

debido a la inversión del campo magnético a medida que los polos norte y sur pasan por los conductores individuales.

La disposición más común, es la de un electroimán cilíndrico que gira dentro de un conjunto de conductores estacionarios.

Los generadores de corriente alterna de baja velocidad se fabrican con hasta 100 polos, para mejorar su eficiencia y para lograr con más facilidad la frecuencia deseada. Los alternadores accionados por turbinas de alta velocidad, sin embargo, son a menudo maquinas de dos polos. La frecuencia de la corriente que suministra un generador de corriente alterna, es igual a la mitad del producto del número de polos y el número de revoluciones por segundo de la armadura.

Los generadores sincrónicos también tienen su propia clasificación la cual es por el sistema de excitación y por su sistema de enfriamiento.

2.3.3. Generadores enfriados por aire

Estos generadores se dividen en dos tipos básicos: abiertos ventilados (OV. Open ventilatec) y completamente cerrados enfriados por agua a aire (TEWC, totality enclosed water to air cooler).

Los generadores de tipo OV fueron los primeros construidos y que se utilizan en algunas plantas de tamaño pequeño. El aire en este tipo de generadores pasa solo una vez por el sistema, con una considerable cantidad de materias extrañas que pueden acumularse en las bobinas, interfiriendo la transferencia de calor y afectando adversamente al aislamiento. Se pueden usar filtros que puedan reemplazarse o limpiar, para mantener limpios los embobinados.

Los generadores tipo TEWC son un sistema de enfriamiento cerrado, donde el aire recircula constantemente y se enfría pasando a través del tubo de enfriador, dentro de los cuales se hace pasar agua de circulación. La suciedad y materias extrañas no existen en el sistema, puesto que se tiene agua de enfriamiento disponible, la temperatura del aire puede mantenerse tan baja como se desee.

2.3.4. Generadores enfriados por hidrógeno

Los generadores de mayor capacidad, peso, tamaño y los mas modernos, usan hidrogeno para enfriamiento en vez de aire en circuito de enfriamiento cerrado. El peso del hidrógeno es aproximadamente 1/16 del aire y con un alta capacidad térmica, esto significa, que las perdidas de viento, se reducen por su uso; y el calor removido y transferido a los enfriadores es satisfactorio. Cuando el hidrógeno se mezcla con el oxígeno en proporciones de 20/85% en total, la mezcla es explosiva y se debe tener ciertas precauciones para evitar una avería.

El enfriamiento convencional con hidrógeno puede usarse en generadores con capacidad nominal aproximada de 300 MVA o menos, mucho mayor a los generadores enfriados por agua (cuya construcción es mucho mas compleja) que llegan a un máximo de 250 MVA.

Generalmente, los generadores se construyen con un sistema de enfriamiento por hidrogeno cuando son unidades con capacidades de 100 MVA o mas.

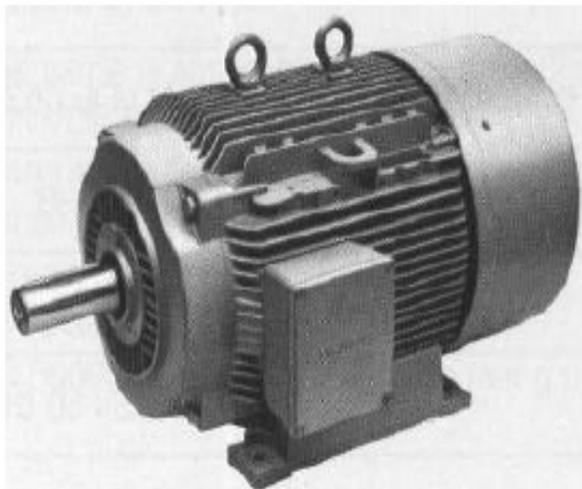
2.4. Motores eléctricos

En la industria guatemalteca actual se utiliza con mayor frecuencia dependiendo de su aplicación, motores de inducción, síncronos y motores de corriente directa. A continuación, se presenta una pequeña introducción acerca del funcionamiento y principales características de un motor de inducción.

2.4.1. Motores de inducción

El motor de inducción es, sin lugar a dudas, la máquina más utilizada en los accionamientos industriales. Esta máquina fue inventada por Tesla a finales del siglo pasado, y demostró las ventajas de los sistemas de corriente alterna con respecto a los sistemas de corriente continua. Desde ese momento y hasta el presente, la sencillez, robustez y reducido costo han hecho insustituible el uso masivo de esta máquina en la industria.

Figura 4 Aspecto externo de un motor de inducción típico

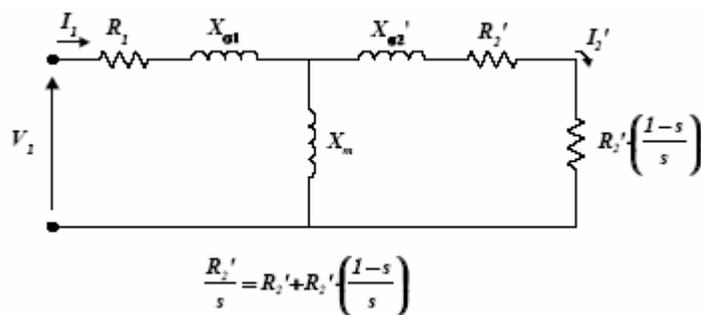


2.4.2. Circuito equivalente de un motor de inducción

El circuito equivalente de la máquina, se obtiene refiriendo el circuito del lado rotórico al lado del estator de la máquina. En este circuito equivalente, es habitual colocar una resistencia en paralelo, con la reactancia de magnetización con la finalidad de representar las pérdidas en el hierro de la máquina. Estas pérdidas son debidas al flujo principal de la máquina y este flujo produce la fuerza electromotriz del estator.

La resistencia total del rotor referida al estator, depende inversamente del deslizamiento. Cuando es necesario hacer un balance de pérdidas en la máquina, resulta conveniente separar esta resistencia en dos partes: una representa las pérdidas en los conductores del rotor, y la diferencia representa la potencia que sale o entra del eje mecánico de la máquina. La separación de la resistencia total del rotor referida al estator en estos dos componentes es:

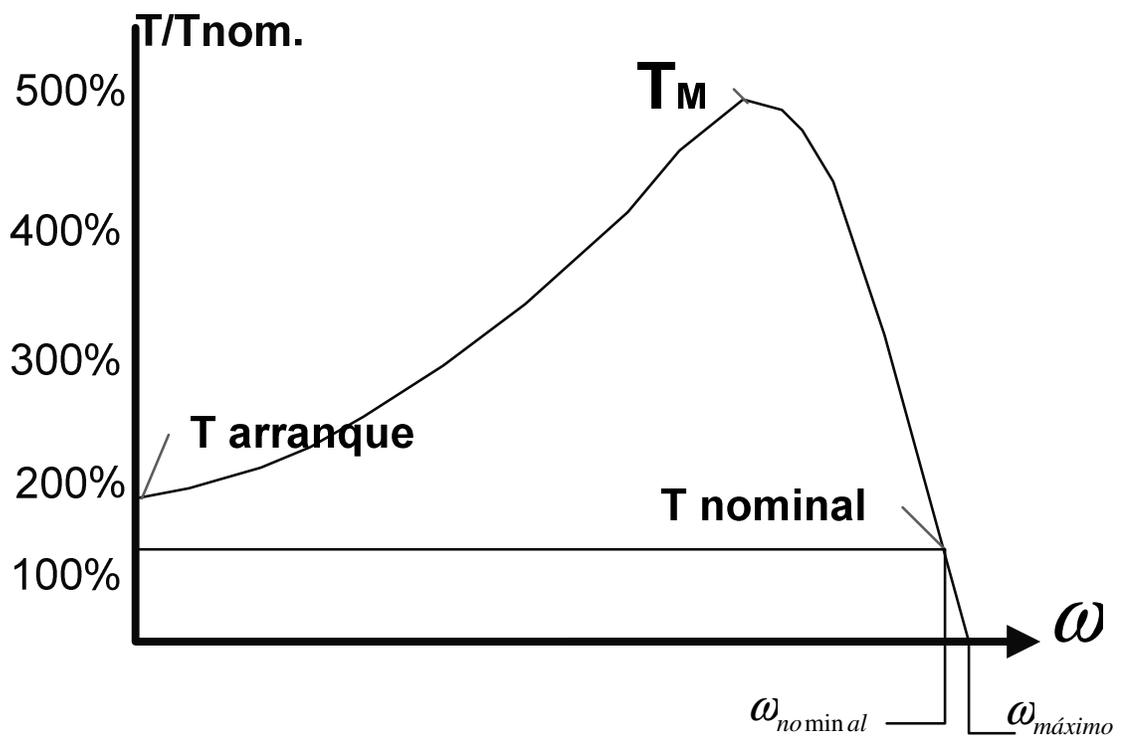
Figura 5 Circuito equivalente del motor de inducción



2.4.3. Características de par-velocidad

En la curva característica se muestra la dependencia entre el par desarrollado por un motor eléctrico y su velocidad angular; en general, el comportamiento de esta curva característica de los motores es distinto al de las cargas, pues los motores eléctricos tienden a presentar un decrecimiento del par motor para velocidades crecientes.

Figura 6 Característica par-velocidad de un motor de inducción típico

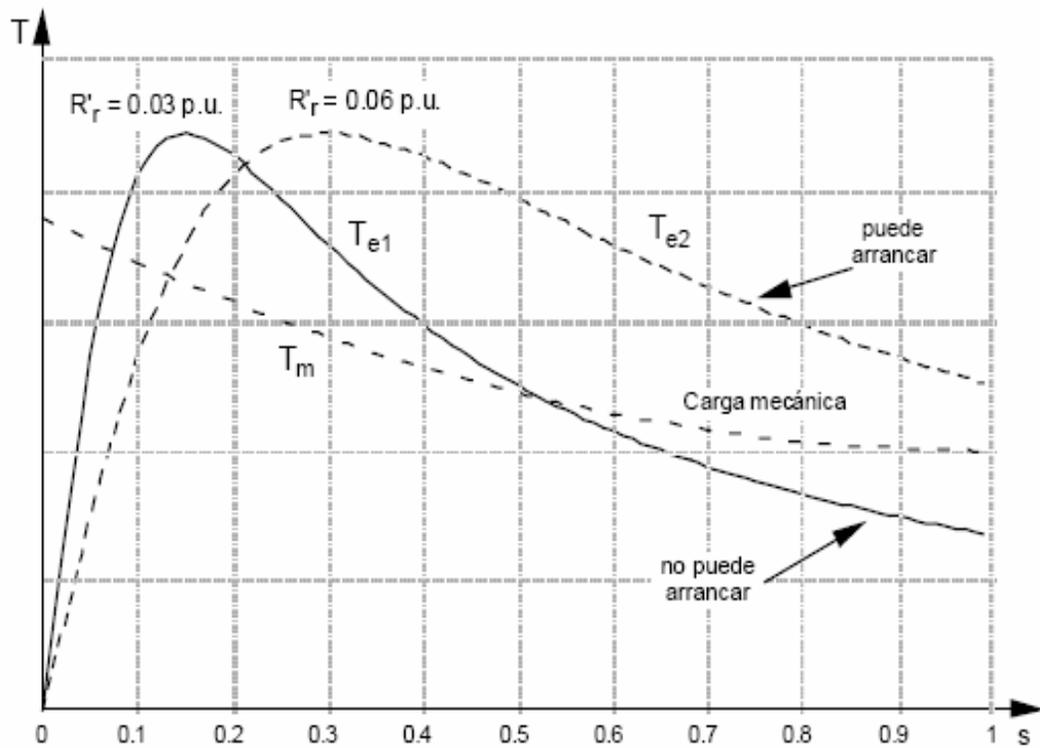


2.4.4. Arranque de motores de inducción

Cuando se utiliza una máquina de inducción para arrancar y accionar una carga mecánica a una velocidad determinada, es posible que sucedan tres situaciones diferentes:

- 1) El torque eléctrico de arranque que suministra la máquina, puede ser inferior al torque mecánico que requiere la carga en reposo para comenzar a moverse. En esta situación, la máquina no puede acelerar, el rotor está detenido o bloqueado. La corriente es varias veces la corriente nominal y si no se pone remedio a esta situación, la máquina corre un serio riesgo de dañarse por calentamiento excesivo.
- 2) El torque eléctrico es exactamente igual al torque de la carga. Esta situación tiene los mismos problemas que el primer caso. Si el torque eléctrico y mecánico están equilibrados, no es posible acelerar la máquina.
- 3) El torque eléctrico de arranque es mayor que el torque mecánico de la carga. En estas condiciones, existe un torque acelerante que permite incrementar la velocidad del rotor, hasta un punto de la característica torque eléctrico - deslizamiento donde se equilibran los torques de la máquina y de la carga. Si la velocidad alcanzada en este punto es cercana a la velocidad sincrónica, la corriente disminuye a un nivel que permite la operación en régimen permanente. Cuando la máquina opera en este punto, un pequeño incremento de la carga mecánica, reduce la velocidad e incrementa el torque eléctrico de accionamiento, obteniéndose un nuevo punto de operación.

Figura 7 Condiciones de arranque para dos máquinas de inducción con diferente resistencia en el rotor²



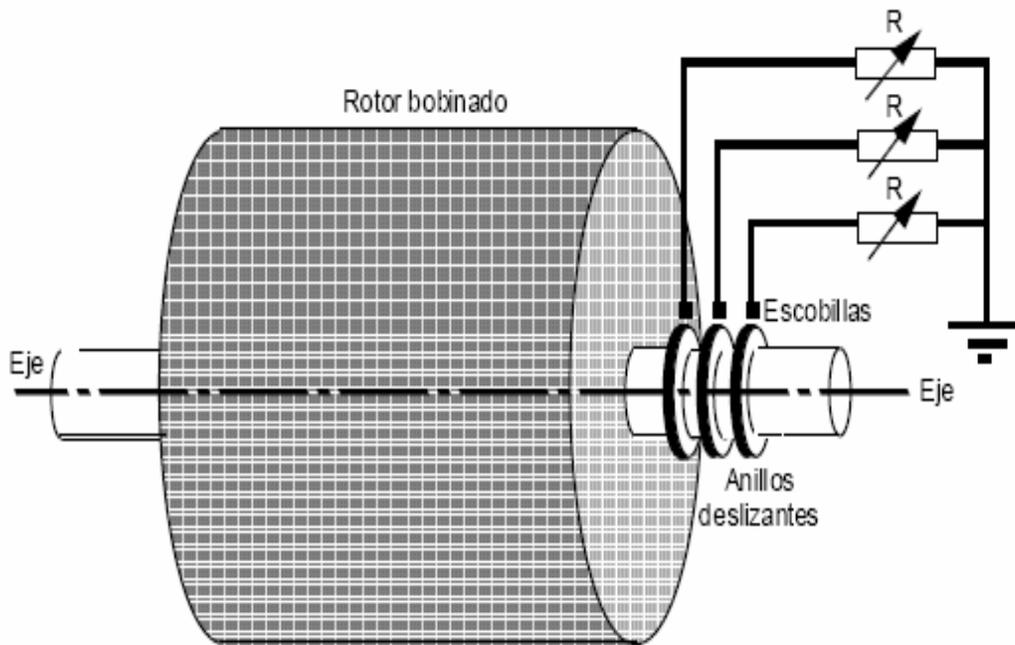
En la figura 7 se observa que una máquina de inducción, produce más torque eléctrico de arranque en la medida que la resistencia del rotor aumenta. Una máquina con alta resistencia en el rotor tiene deslizamientos de operación más grandes. Las pérdidas en el rotor se incrementan durante la operación en régimen permanente, cuando se utilizan resistencias grandes en estas bobinas, y esto repercute desfavorablemente en el rendimiento de la máquina.

Es deseable que una máquina eléctrica produzca un torque de arranque elevado y un rendimiento cercano a la unidad. Estas dos características de la máquina se contraponen con respecto a la variación de la resistencia del rotor.

² Principios básicos de la máquina de inducción, Universidad Simón Bolívar, Prof. José Manuel Aller.

Por esta razón, en algunas máquinas de inducción se añade en el eje del rotor anillos deslizantes, cada uno de ellos se conecta a un extremo de las fases del rotor. Estos anillos, permiten conectar elementos en el exterior de la máquina con las bobinas del rotor, mediante contactos deslizantes “carbones” o escobillas. Al disponer de acceso al circuito del rotor, es posible incluir resistencia adicional con la finalidad de incrementar el torque eléctrico de la máquina durante el arranque. Cuando la máquina está operando en régimen permanente, es posible eliminar o cortocircuitar la resistencia adicional, para mejorar el rendimiento.

Figura 8 Rotor devanado con anillos deslizantes y escobillas



El rotor bobinado con acceso mediante anillos rozantes, es capaz de regular el torque de arranque, disminuir las corrientes durante el proceso de aceleración y aumentar el rendimiento en el punto de operación, eliminando la resistencia

externa. Sin embargo, esta solución encarece la máquina, incrementa las pérdidas mecánicas por fricción con las escobillas.

2.4.4.1. Corrientes de arranque

Un problema importante en la operación de la máquina de inducción, es la elevada corriente que esta absorbe durante el proceso de arranque. La corriente de arranque de una máquina de inducción, se encuentra entre tres y seis veces la corriente nominal de la máquina, y en algunas ocasiones aún más. La caída de tensión en los conductores de alimentación y en el sistema puede sobrepasar el máximo permitido. La tensión de alimentación de la máquina no debe estar nunca por debajo del 5% de su valor nominal, hay que recordar que el torque eléctrico se reduce con el cuadrado de la tensión de alimentación, y la máquina puede ser incapaz de acelerar la carga mecánica.

Existen cargas mecánicas que a baja velocidad no ofrecen resistencia importante y su torque mecánico se incrementa paulatinamente con la velocidad. En este caso, es posible utilizar sistemas de arranque de la máquina de inducción a tensión reducida, que contribuyen a disminuir la magnitud de la corriente en la máquina durante el proceso de aceleración. Un arranque a tensión reducida, incrementa el tiempo de aceleración de la máquina y su carga mecánica, pero las corrientes disminuyen en la misma proporción que la tensión aplicada.

3. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA

3.1. Análisis del consumo de vapor en el área de molinos

El sector azucarero está dedicando, cada vez más, esfuerzos en obtener mayor eficiencia en el ciclo térmico del proceso productivo. Es por ello, que en el Ingenio Santa Ana se ha tomado la decisión de sustituir una turbina de vapor por un motor eléctrico de inducción en el área de molinos.

3.1.1. Área

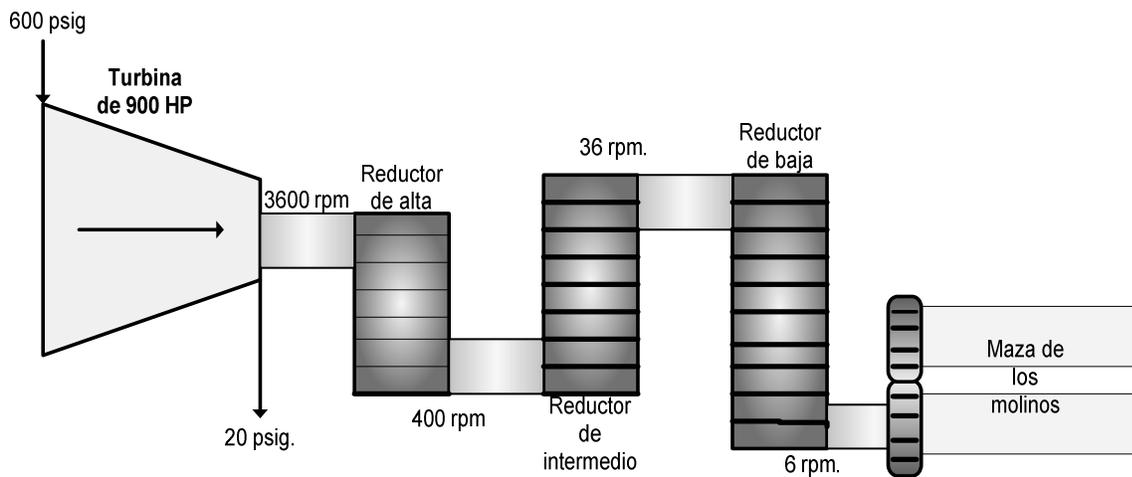
El mayor consumo de energía de vapor en un ingenio azucarero, está concentrado en el área de preparación y molienda de la caña. Ya que en esta área se encuentra instaladas turbinas de vapor que, trabajan para realizar el movimiento de las mazas las cuales, se utilizan para la extracción de jugo de la caña. Debido a que la eficiencia promedio de estas turbinas es del 70%, se decidió hacer un estudio para hacer más eficiente la utilización del vapor, y se llegó a la conclusión de sustituir las turbinas de vapor por motores eléctricos de inducción.

Por otro lado, a parte de la desventaja de la baja eficiencia de las turbinas de vapor, se puede mencionar que con ella es muy difícil tener un control preciso en la velocidad de rotación, al contrario un motor eléctrico es más eficiente y con el se puede tener un control de velocidad al momento de instalar un variador de velocidad, el cual se tiene previsto implementarlo en años posteriores.

3.1.2. Descripción del proceso

En el proceso de extracción del jugo de la caña, el primero y quinto molino, son accionados por medio de una turbina de vapor de 900HP, 3600 rpm y 600 psi. Del segundo molino al cuarto, cada uno esta accionado por una turbina que giran a 3200 rpm. Las turbinas están acopladas a unos reductores de alta, los cuales disminuyen la velocidad a 400 rpm. y estos a su vez están acoplados a otros reductores intermedios, los cuales disminuyen la velocidad de 400 a 36 rpm. Finalmente, existen los últimos reductores que disminuyen la velocidad de 36 a 6 rpm., estos transmiten el movimiento por medio de un acople a la maza superior y ésta a su vez se lo transmite hacia las otras tres mazas que son la cañera, cuarta maza y bagacera, como se ilustra en la figura 9.

Figura 9 Configuración actual del molino



3.1.3. Diagrama de proceso

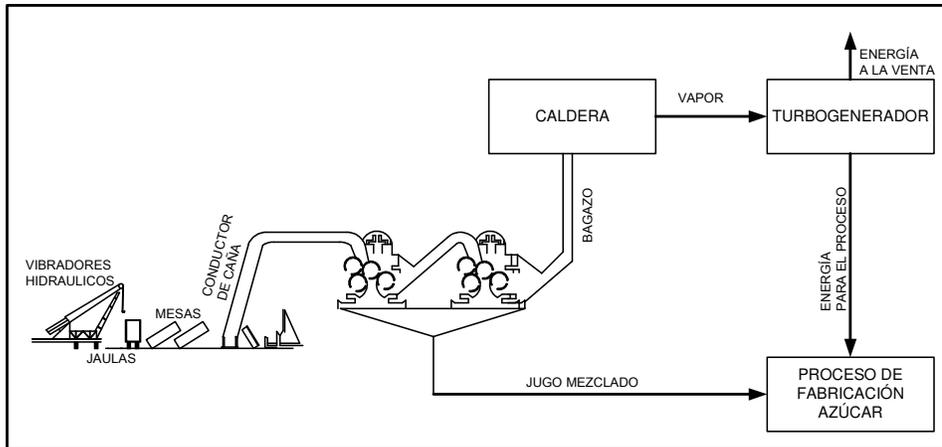
La caña llega al patio de dos formas: caña maleteada que en su mayoría es verde, sin quemar, y caña a granel, que viene en contenedores, llamados jaulas, para que puedan ser fácilmente descargados.

En el patio, la caña es pesada en las básculas y luego se descarga en las mesas de caña, donde es lavada. Después, la caña pasa por los conductores donde es transportada y preparada, para que en el sistema de molienda la extracción del jugo sea fácil.

El sistema de molienda consiste de un tandem de molinos compuestos de cuatro rodillos conocidos con el nombre de mazas. Se agrega agua de imbibición para facilitar la extracción de sacarosa. La finalidad principal de los molinos, es conseguir la mayor separación posible de los dos elementos de la caña: fibra y jugo. El jugo extraído es bombeado a fábrica y el bagazo es conducido a calderas para utilizarse como combustible. Ver apéndice figura 40.

Las calderas generan el vapor y este es utilizado para la generación de energía a través del turbogenerador, la cual en su mayoría se vende a la empresa eléctrica y un porcentaje se utiliza en el proceso de evaporación de azúcar.

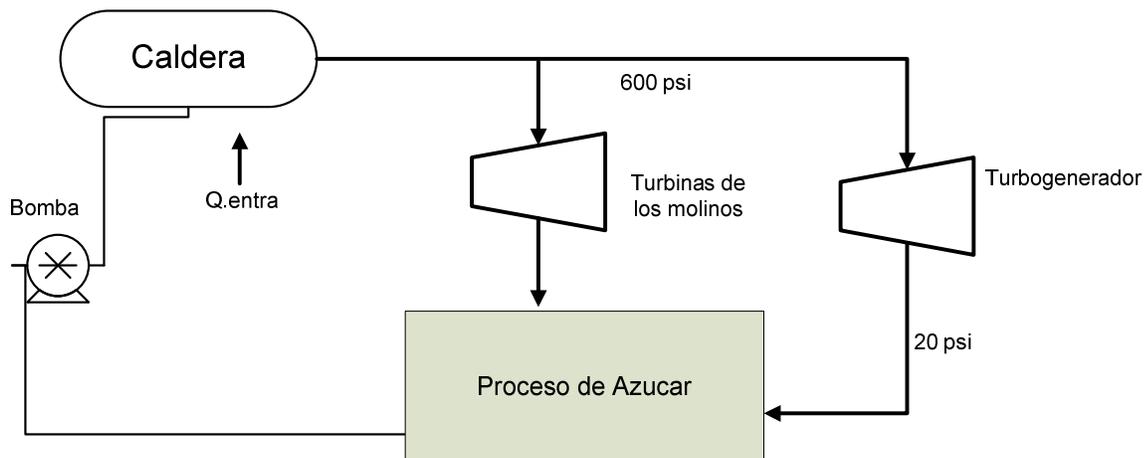
Figura 10 Diagrama del proceso de elaboración de azúcar



3.1.4. Diagnóstico de la situación actual

Para generar el vapor con el que se alimenta a las turbinas, es necesaria una caldera de 200,000 Lb. vapor por hora a una presión de 600 psi. Dicha caldera utiliza como combustible el bagazo que sale del último molino. Esta caldera alimenta al mismo tiempo a un turbogenerador de 15 Mw.

Figura 11 Circuito de vapor utilizado en área de producción de azúcar y generación de energía eléctrica



Cuando el vapor pasa a través de las turbinas, se expansiona y sale con una presión de 20 psi., la cual es utilizada para todo el proceso de fabricación del azúcar. Actualmente, en el ingenio Santa Ana, la disposición de las turbinas de vapor para los molinos y para un generador de 15 Mw. se encuentra como lo muestra la figura 11, en donde el generador trabaja aproximadamente al 50% de su capacidad, debido a que la capacidad de la caldera no es suficiente para alimentar los dos circuitos.

A continuación se describen las ventajas y desventajas en la utilización de turbinas de vapor, para la el proceso de extracción y molienda en un Ingenio azucarero.

Desventajas:

- Baja eficiencia de las turbinas de vapor
- Alto costo de mantenimiento.
- No se tiene un control preciso en la velocidad de rotación de la turbina.
- Baja cantidad de vapor entregadas de la caldera hacia el turbogenerador.
- El turbogenerador trabaja a baja capacidad de operación.

Ventajas:

Actualmente, no se encuentra alguna ventaja en la utilización de turbinas de vapor en un ingenio azucarero, en el cual, la cogeneración se lleva a cabo a través de la utilización de bagazo de caña de azúcar, a menos que se utilice para la generación de energía eléctrica.

3.1.5. Diagrama causa-efecto

El análisis siguiente se realizó en el área de extracción y molienda del ingenio Santa Ana, la información se obtuvo a través de entrevistas con los operarios y supervisores del área. Esta información fue determinante para la identificación de las causas posible en el exceso de consumo de vapor.

Pérdidas por presión; por tuberías muy extensas y la excesiva velocidad del vapor, porque cuando mayor es la distancia que debe recorrer el vapor debe ser menor la velocidad para evitar caídas de presión excesivas.

Fugas en la tubería se pueden ocasionar por daños en la tubería, ya sea por desgaste natural o por incrustaciones de materias extrañas en los tubos o flanges o acoples daños.

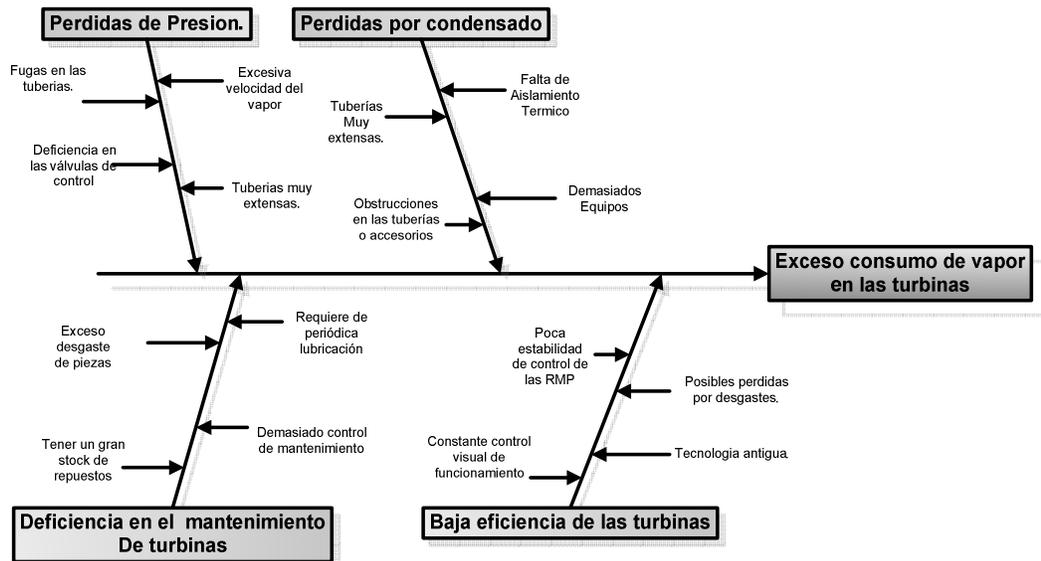
Válvulas de control, en estas se pueden ocasionar que no realicen adecuadamente su función, habiendo fugas cuando deben sellar alguna tubería que no necesite vapor en ese momento.

El no tener una buena calidad de vapor ocasiona que en las turbinas varíen las rpm. y como consecuencia no se tiene una velocidad estable del molino, por otra parte se puede mencionar que las turbina de vapor tiene baja eficiencia comparándola con el motor eléctrico de inducción.

En el siguiente diagrama se plasma el análisis de consumo de vapor en el área de extracción y molienda del Ingenio Santa Ana.

Figura 12 Diagrama causa efecto consumo de vapor área de extracción y molienda

Diagrama Causa-Efecto



3.1.6. Condiciones de seguridad

Como en toda industria, se vela por la seguridad de los trabajadores, esta es una de ellas, que le da gran importancia por la seguridad de su personal, para ello proporciona el equipo de protección a cada trabajador.

Entre unos de los varios equipos que la empresa tiene para sus trabajadores se pueden mencionar:

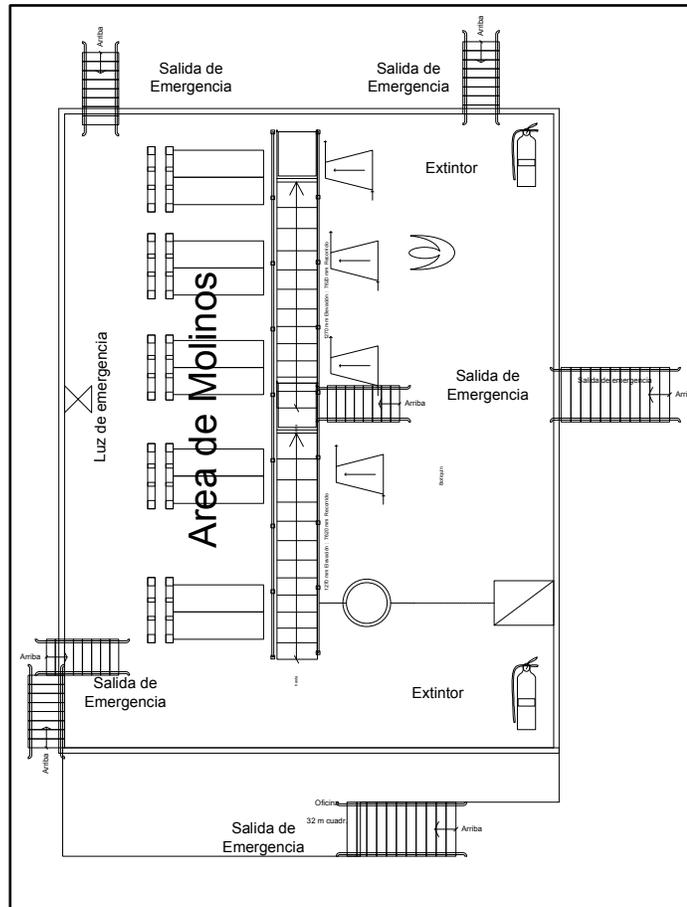
- Casco de protección: los cuales se encuentran en buenas condiciones para que el trabajador tenga la protección adecuada.
- Arnés: estos se utilizan cuando el trabajador se encuentra trabajando en andamios o techos de los edificios, los cuales también se encuentran en excelentes condiciones.
- Guantes
- Anteojos
- Careta para soldar
- Gabacha para soldar
- Topes de oídos

Todo este equipo se encuentra en perfecto estado para garantizar la seguridad de los trabajadores y contribuir con la realización de sus tareas.

Así, también cuenta con buenas condiciones de seguridad, entre las más importantes, se ilustran en la figura 13 y se enumeran las siguientes:

1. Identificación de salidas de emergencias.
2. Identificación de partes con temperaturas altas.
3. Protección de las partes en movimiento.
4. Ubicación de extintores.
5. Protección de líneas de alta tensión.

Figura 13 Condiciones de seguridad en el área molinos



3.1.7. Personal de mantenimiento

En una industria azucarera se cuenta con dos períodos al año, uno de ellos es el mantenimiento preventivo de la maquinaria y el otro el período de producción, y para ello se cuenta con los siguientes puestos de trabajo:

- Jefe de Departamento
- Supervisores
- Auxiliares

- Mecánico Primera
- Ayudante de mecánico
- Soldador Primera
- Ayudante de soldador
- Electricistas
- Ayudante de electricista
- Instrumentista
- Ayudante de instrumentista
- Albañil
- Ayudante de albañil

Cada uno de ellos, para desempeñar su puesto dentro de la empresa, el departamento de Recursos Humanos realiza cierto procedimiento para su contratación, dentro del cual se encuentran las pruebas específicas para cada puesto, con lo cual se determina, que el personal que labora dentro de esta empresa esta totalmente capacitado para desempeñar el puesto a su cargo, además, la empresa en el período de mantenimiento, refuerza a sus trabajadores con cursos de capacitación específicas que coadyuven al mejoramiento de la habilidades y conocimientos de los mismo.

3.2. Análisis de emisión de partículas de bagacillo hacia la atmósfera

La combustión y su control es lo más importante en la operación de una caldera. El objeto de la combustión, es proporcionar una producción de calor uniforme y regulado para ser transmitida a un medio que la absorba. Pero si se tiene una mala combustión, además de bajar la eficiencia de operación de la caldera, se tiene con ello que salgan por la chimenea partículas de bagacillo.

Al tener una mala combustión del bagazo en el hogar de la caldera conlleva a tener varias desventajas como las que se numeran a continuación:

1. Mala calidad de vapor
2. Baja la eficiencia de la caldera
3. Emisión de partículas por las chimeneas al medio ambiente
4. Daño a la capa de ozono
5. Daño al flora que se encuentra al rededor de la caldera

3.2.1. Descripción del proceso de combustión del bagacillo de caña en una caldera

El bagazo es el material sólido, fibroso que sale de la abertura trasera del último de los molinos de la batería, después de la extracción del jugo, el cual es el residuo de la molienda de la caña.

Su composición física, a pesar de la diversidad de las plantas de molienda y de las máquinas empleadas para ella, la composición física del bagazo varia entre límites bastante estrechos. Su propiedad más importante, desde el punto de vista de la producción de vapor, es su humedad. Cuando el trabajo de los molinos es deficiente, el contenido de humedad del bagazo será de aproximadamente el 50%, mientras que con un buen trabajo su contenido será de 40%.

El bagazo que sale del último de la batería de molinos, es transportado a través de conductores de faja de hule o de tablillas hacia los alimentadores de bagazo que, estos se encargan de distribuir uniformemente el bagazo en el hogar de la caldera, y además con la ayuda del ventilador tiro forzado que hace que el bagazo permanezca en suspensión en el hogar, para realizar una mejor

combustión del mismo y no se forme un colchón de bagazo en la parrilla de la caldera, lo cual genera una mala combustión.

Después de realizar la combustión el bagazo en el hogar de la caldera, los gases de escape son extraídos por ventiladores llamados tiro inducido y éste se encarga de realizar la descargas de los gases hacia la atmósfera.

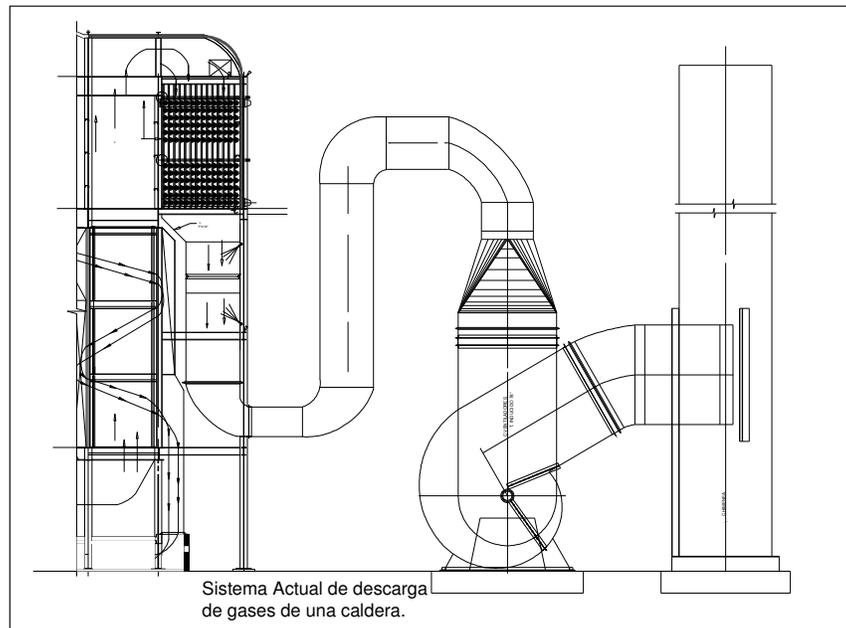
Al tener una mala combustión el bagazo en la descarga de gases hacia la atmósfera, puede ir contaminada por partículas de ceniza de bagazo, es por ello que se tomo la decisión de realizar la implementación de un separador de partículas de bagacillo, para eliminar la contaminación hacia la atmósfera y tener un aire mas limpio.

3.2.2. Descripción del sistema actual de descarga de humo por las chimeneas

Como se han mencionado anteriormente, después de la combustión de bagazo, los gases son extraídos por el ventilador tiro inducido para realizar la descarga hacia la atmósfera, como se muestra en la figura 14.

Una de las desventajas de no utilizar el separador de partículas de bagacillo, es que el aire que sale por la chimenea es demasiado contaminante, el cual daña la capa de ozono.

Figura 14 Sistema actual de descarga de gases



3.2.3. Diagrama causa-efecto

Como se sabe una mala combustión del bagazo en el hogar de la caldera, es la causa principal de la generación de partículas de bagacillo en la descarga de humo por las chimeneas, y por ello se realizan entrevistas con los operarios, auxiliares y supervisores de área de calderas para analizar la mala combustión del bagazo.

El bagazo seco tiene gran poder calorífico, pero esto depende mucho de las condiciones en que se encuentre, como en un ingenio azucarero se debe quemar continuamente después de que sale del último molino, este se está quemando aproximadamente con 50-51% de humedad y 1.15-1.25% de impurezas, acompañado del exceso de aire, lo que baja mucho la eficiencia de la combustión de las calderas, es por ello que se lleva un control de humedad del bagazo por parte de laboratorio de fábrica para que no pase de estos porcentajes mencionados.

Cuando una caldera está operando mal, se debe revisar el equipo involucrado en la operación de la misma, como se menciona a continuación.

Alimentadores de bagazo: se encargan de la dosificación y distribución de bagazo que ingresa al hogar de la caldera, una alimentación muy rica puede provocar que no se queme el bagazo completamente.

Ventiladores tiro forzado: se encargan que ingrese el aire necesario para que el bagazo permanezca el mayor tiempo posible flotando en el hogar de la caldera para que su combustión sea óptima.

Ventiladores over five: se encargan de ingresar el aire necesario para que se realice la combustión adecuada, la falla o mala operación de este puede generar un exceso o escasez de aire, provocando una mala combustión del bagazo.

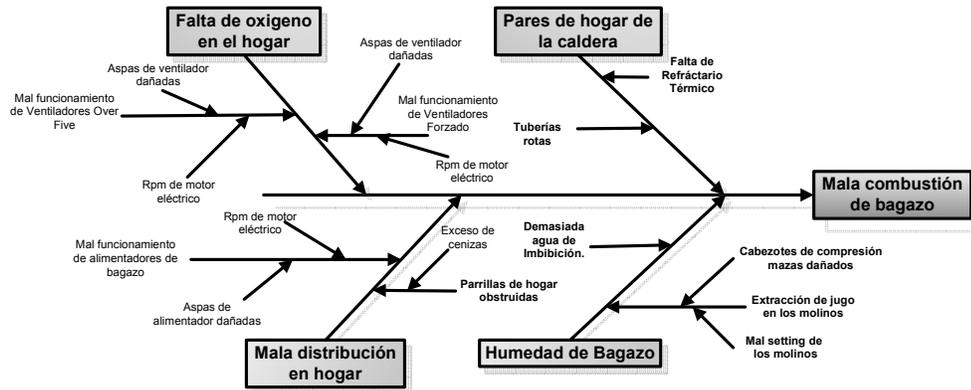
Un tubo roto en las paredes de la caldera provoca que se genere una mala combustión en la caldera.

Los ceniceros obstruidos pueden ocasionar que las partículas de bagacillo salgan por las chimeneas.

En el siguiente diagrama se plasma el análisis de la mala combustión, como a continuación se presenta.

Figura 15 Diagrama causa-efecto de mala combustión de bagazo

Diagrama Causa-Efecto



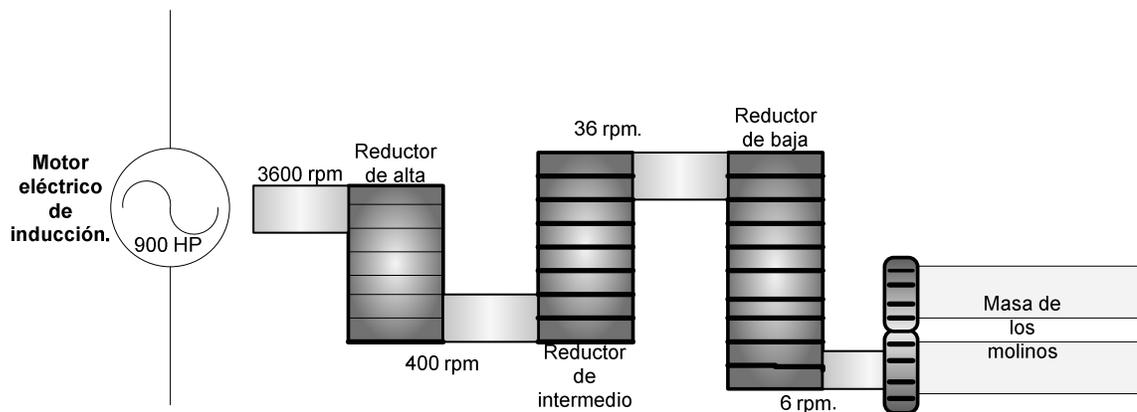
4. DISEÑO, MONTAJE E INSTALACIÓN DEL MOTOR ELÉCTRICO DE INDUCCIÓN

4.1. Propuesta

Es posible aumentar la generación del turbogenerador, si se disminuye el consumo de vapor en las turbinas del área de molinos del ingenio. Para reducir dicho consumo de vapor, es necesario remplazar las turbinas actuales por motores eléctricos de inducción. Con el reemplazo total de las turbinas se reflejará el aumento de generación eléctrica en el generador, como se muestra en el análisis que se describe en el capítulo No. 6, página 81.

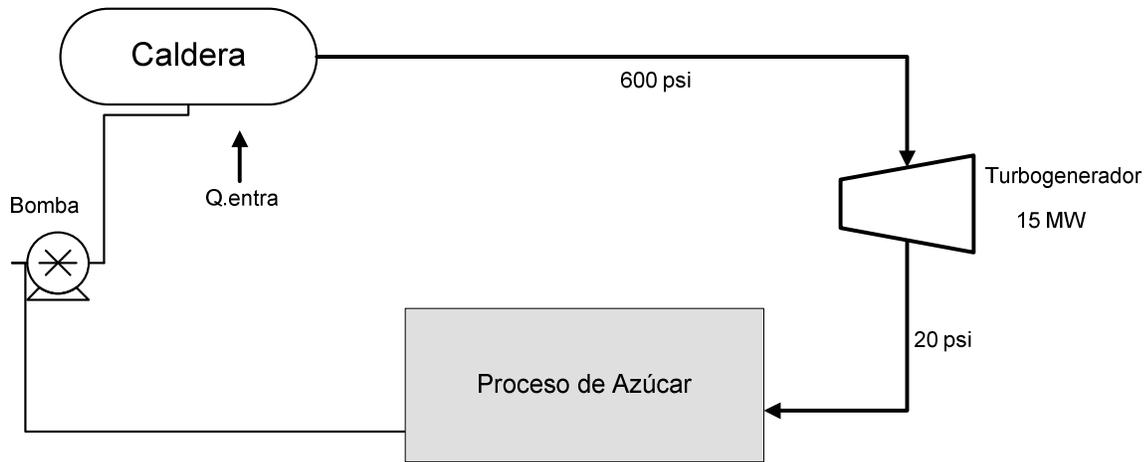
En la figura 16 se muestra la configuración que tendrá el molino con la sustitución de la turbina por el motor eléctrico.

Figura 16 Sustitución de turbina por motor eléctrico



Con dicha sustitución, el ahorro de vapor que se obtendrá, es dirigido hacia el generador para aumentar su generación aproximándose a un 100%. Y el circuito de vapor final se muestra en la figura 17.

Figura 17 Circuito de vapor final



4.2. Cálculo para la selección del motor

De las necesidades anteriores, la potencia necesaria para mover el molino es la misma que la de la turbina (900 HP). Es necesario conocer el torque que el motor debe de entregar al reductor de alta para generar el movimiento. Calculando el torque en la salida del reductor de alta, en base a la formula³ siguiente: La deducción de esta formula ver apéndice en la figura 41.

$$T_{RA} = \frac{5250(s^3/pie)*C}{n}$$

$$T_{RA} = \frac{5250*900}{400}$$

$$T_{RA} = 11,812.5lb - pie$$

De donde:

T_{RA} = Torque en el eje de salida del reductor de alta (lb-pie)

C = Potencia que recibe el reductor (HP)

n =Velocidad del eje de salida del reductor (rpm)

³ Hugot (1963). Manual para ingenieros azucareros. Pág. 727

Para obtener el torque que entregará el motor se utiliza la siguiente relación:

$$\frac{T_M}{T_{R1}} = \frac{\omega_{R1}}{\omega_m}$$

De la cual se obtiene:

$$T_M = \frac{T_{R1} \omega_{R1}}{\omega_m}$$

De donde:

T_M = torque del motor (lb-pie)

T_{R1} = Torque en la salida de reductor (lb-pie)

ω_{R1} = Velocidad angular de la salida del reductor (rpm)

ω_m = Velocidad angular del motor (rpm)

De la relación anterior, se procede a calcular el par mecánico para un motor de 3,600 rpm (velocidad motor eléctrico existente en el mercado) se tiene:

$$T_M = \frac{11,812.5 * 400}{3600}$$

$$T_M = 1,312.5 \text{ lb} - \text{pie}$$

De la ecuación anterior se conoce que el torque del motor a sustituir tiene que ser de 1,312.5 lb.-pie.

4.2.1. Potencia requerida

Actualmente, en el área de molinos la potencia mecánica es suministrada a partir de una turbina de vapor de 900 HP, por lo que el motor a instalar debe contar con esta misma potencia. Esta potencia está dada por el diseño del molino.

4.2.2. Velocidad de operación

Al igual que la potencia requerida, la velocidad también está dada por el diseño de operación del molino es de 3,600 rpm.

4.2.3. Par de arranque necesario

El par necesario del motor eléctrico para mover la carga es de 1,312.5 lb-pie de acuerdo con los cálculos anteriores.

4.2.4. Condiciones del ambiente

El ingenio Santa Ana, se localiza en el departamento de Escuintla, el cual está ubicado al sur de Guatemala. El monumento de elevación del IGN en el parque central de la cabecera departamental se encuentra a 346.91 m sobre el nivel del mar, con latitud $14^{\circ}8'13''$ y longitud $90^{\circ}47'08''$.

Según datos proporcionados por el Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala (INSIVUMEH), para la época de zafra (noviembre a marzo), la temperatura del ambiente oscila entre 19° y 38° C y la humedad relativa entre el 21 y 99%.

Debido los datos anteriores proporcionados por el INSUVUMEH, el diseño y tipo de enfriamiento del motor debe ser el siguiente:

TEFC (Totally Enclosed Fan Cooled)⁴. Totalmente cerrado enfriado con ventilador externo.

Si se toma temperatura máxima del ambiente como 39°C, el tipo de aislamiento del motor será clase F, que soporta 155°C según tabla a continuación.

Tabla I. Tipos de aislamiento de motores eléctricos⁵

CLASE	AUMENTO MÁXIMO PERMISIBLE SOBRE 40°C	TEMPERATURA MÁXIMA DEL PUNTO MAS CALIENTE
B	90	130
F	115	155
H	140	180

4.2.5. Características de alimentación eléctrica

El Ingenio Santa Ana opera con los siguientes niveles de voltajes:

13.8 KV

2.4 KV

0.48 KV

Todos estos niveles trabajan a 60 Hz, debido a que esa es la frecuencia del sistema nacional interconectado y por supuesto de América.

⁴ Kosow, Electric Machinery and Transformers, 2nd Edition, Prentice Hall Cowern Papers

⁵ Fuente: <http://www.baldor.com/pdf/brochures/pr2525.pdf>

Como se menciona anteriormente, el Ingenio cuenta con 3 diferentes niveles de voltaje, pero como el de mayor voltaje (13.8KV) se encuentra saturado, se opto por realizar la conexión a la línea de 2.4 KV.

4.3. Montaje del motor

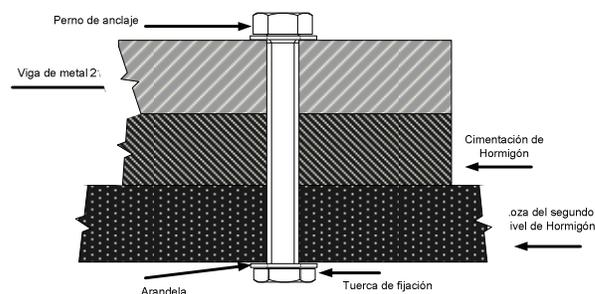
El lugar donde se llevo a cabo el montaje del motor se encuentra en una atmósfera libre de ambiente húmedo, corrosivo y sin sustancias o partículas inflamables.

4.3.1. Cimentación

La cimentación que se utilizó para el montaje del motor eléctrico, fue la misma en la que se encontraba instalada la turbina de vapor, solo que con algunas modificaciones, entre las que se puede mencionar: El aumento en la altura de la base o bancazo, con una viga de metal de 21” como se fue observar en la figura 23.

El área donde se instalo el motor eléctrico se encuentra en el 2do. Nivel del edificio de molinos por lo que para el anclaje se perforaron cuatro agujeros atravesando la loza, la cimentación y la viga de metal, como se muestran en la figura 18.

Figura 18 Perno de anclaje del motor eléctrico



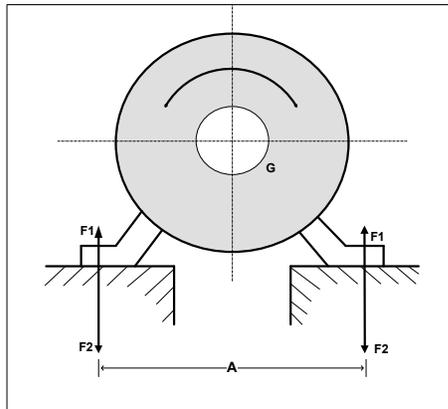
4.3.2. Pernos de anclaje

Son dispositivos para la fijación de motores directamente en la cimentación, en base a la figura 19, se aprecia las fuerzas que actúan sobre la cimentación y para el cálculo de esas fuerzas se utilizaron las siguientes formulas⁶:

$$F1 = 0.5 \times g \times G - \left(\frac{4 \times T_M}{A} \right)$$

$$F2 = 0.5 \times g \times G + \left(\frac{4 \times T_M}{A} \right)$$

Figura 19 Esfuerzos sobre la cimentación del motor



Donde:

$F1$ y $F2$ = Esfuerzos de un lado

g = Aceleración de la gravedad

G = Peso del motor eléctrico⁷

T_M = Par torsión del motor (Pág. 48)

A = Obtenido del diseño dimensional del motor⁸

⁶ WEG. Manual de instalación y mantenimiento de motores eléctricos.

⁷ Reliance Electric. Duty master alternating current motors (July, 2005)

⁸ Reliance Electric. Duty master alternating current motors (July, 2005)

Cálculo de fuerzas:

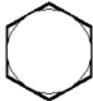
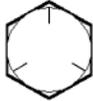
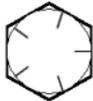
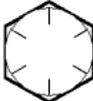
$$F1 = 0.5 \times 32.2 \times 10000 - \left(\frac{4 \times 1312.5}{2.65} \right)$$

$$F1 = 159,019 \text{ lb}$$

$$F2 = 0.5 \times 32.2 \times 10000 + \left(\frac{4 \times 1312.5}{2.65} \right)$$

$$F2 = 162,981 \text{ lb}$$

Tabla II. Esfuerzos de tornillos grado SAE⁹

Número de grado SAE	Esfuerzo de ruptura [kpsi]	Material	Marcado de la cabeza
1 2	74	Acero de bajo carbono ó acero al carbono	
5	120 105	Acero al carbono, Templado y Revenido	
5.2	120	Acero de bajo carbono martensítico, Templado y Revenido	
7	133	Acero al carbono aleado, Templado y Revenido	
8	150	Acero al carbono aleado, Templado y Revenido	
8.2	150	Acero de bajo carbono martensítico, Templado y Revenido	

⁹ Fuente: Tabla de marcas de los productos American Screw.

El diámetro del tornillo utilizado en el anclaje del motor se calcula de la siguiente forma:

Se sabe que el esfuerzo de un material es igual a:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Como se sabe que el área de un círculo es igual a:

$$A = \pi \times r^2$$

Sustituyendo queda de la siguiente forma:

$$\sigma = \frac{F}{\pi \times r^2}$$

Despejando r para conocer el radio del tornillo queda:

$$r = \sqrt{\frac{F}{\pi \times \sigma}}$$

El material de fabricación de tornillo es Acero de bajo carbono, por lo que, de la tabla anterior se puede conocer que el esfuerzo para este material es:

$$\sigma = 74 \text{ Kpsi}$$

Y la fuerza máxima que genera el motor es:

$$F_2 = 162,981 \text{ lb}$$

Sustituyendo los datos queda:

$$r = \sqrt{\frac{162,981}{\pi \times 74,000}}$$
$$r = 0.8 \text{ plg.}$$

El diámetro del tornillo es:

$$D = 2 \times r$$

$$D = 2 \times 0.8$$

$$D \approx 1.6 \text{ plg.}$$

$$D \approx 8/5 \text{ plg.}$$

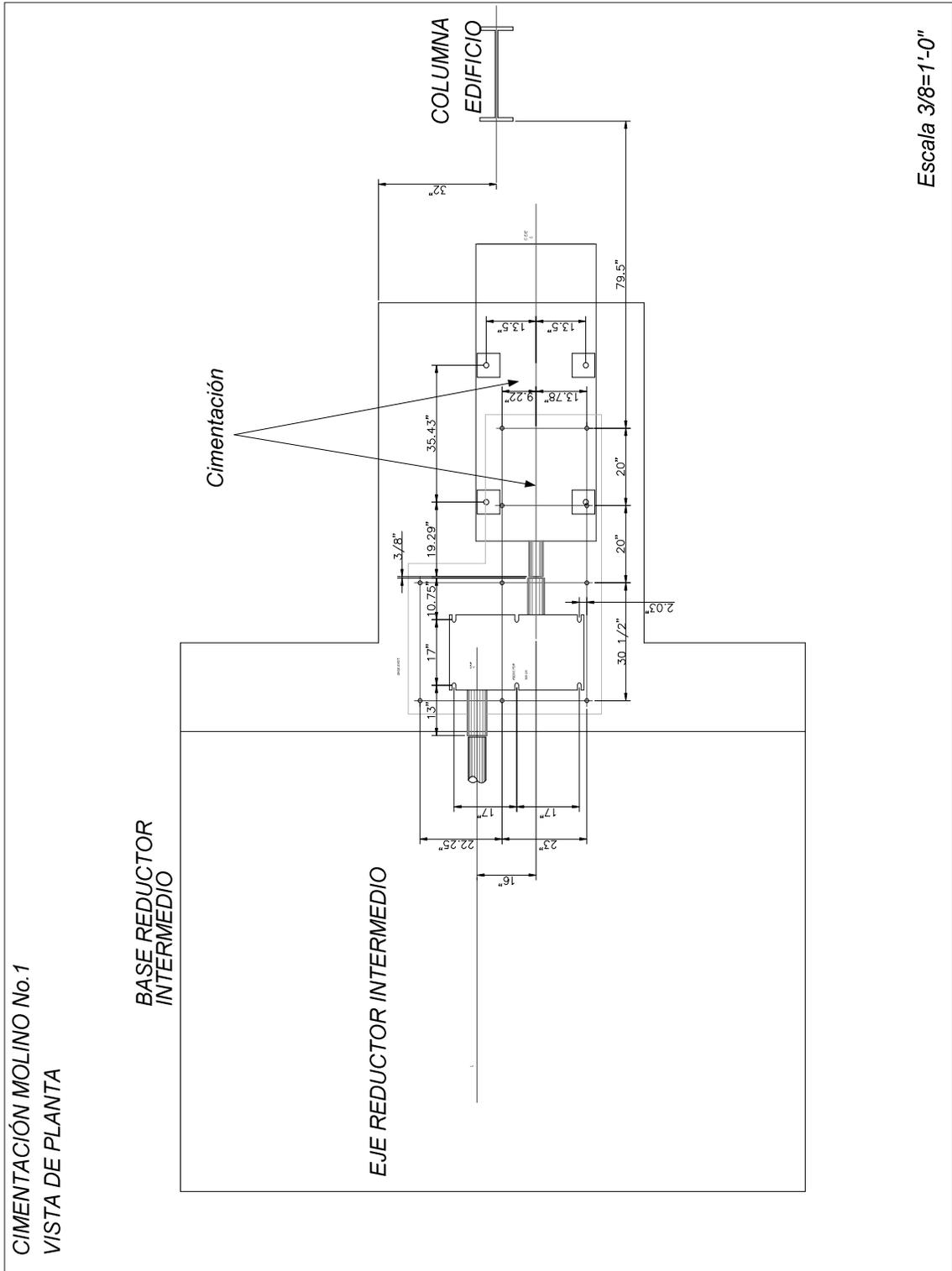
A este diámetro se agrego el factor de seguridad es cual es de 25%. Es que se utiliza en el Ingenio Santa Ana.

$$25\% * D = \frac{2}{5} \text{ plg.}$$

En conclusión el tornillo a utilizar es de un diámetro de 2 pulgadas. De acero bajo al carbón.

En la gráfica 20 se pueden observar las distancias de la separación entre los agujeros en donde se instalaron los pernos de anclaje para el motor y las medidas correspondientes para llevar a cabo el montaje del motor en el bancazo o cimentación.

Figura 20 Medidas para la cimentación del motor eléctrico



4.4. Acoplamiento y alineación del motor

Se utilizó un tipo de acople directo flexible, debido a su menor costo, reducido espacio ocupado, ausencia de deslizamiento, y una mayor seguridad contra accidentes.

4.4.1. Alineación del motor eléctrico con acople directo tipo flexible

El motor debe estar perfectamente alineado con el reductor porque un alineamiento incorrecto puede causar defecto en los rodamientos, vibraciones y hasta la ruptura del eje, la mejor forma de conseguir el alineamiento correcto fue la utilización de relojes comparadores, a través de los siguientes procedimientos:

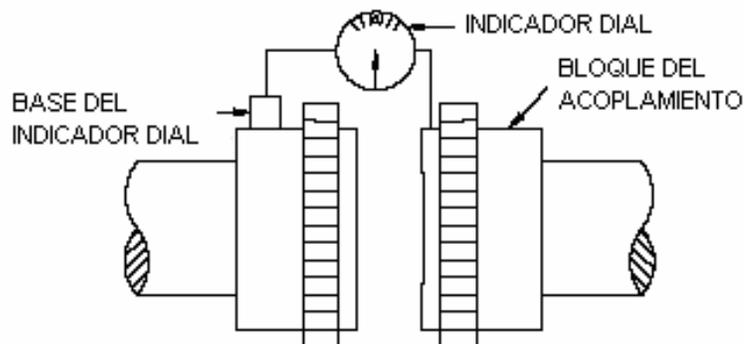
4.4.1.1. Alineamiento paralelo

Debidamente montado el motor en su bancazo. Enseguida, posicione axialmente el rotor en su centro magnético usando las marcas de punción en el lado acoplado.

- Posicione axialmente el motor con relación al reductor.
- Fije el reloj comparador en un lado del acoplamiento con el botón indicador en la superficie maquinada circunferencial del otro lado del acoplamiento. Ver figura 21.
- Ajuste el indicador de mostrador en cero. Marque la localización del botón indicador con una marca visible.
- Gire cada uno de los dos ejes en sucesiones de 90 grados y, sucesivamente lea y registre las indicaciones del mostrador cuando este a en posición 3:00, 6:00, 9:00 y 12:00 horas. El botón indicador debe ser posicionado en la marca para cada lectura.

- Ajuste la posición del eje de modo que la diferencia entre las lecturas de los dos lados (3:00 horas y 9:00 horas) y entre las lecturas de tope y de abajo (12:00 y 6:00 horas) es menor que 0,001 pulgada. Esto puede requerir varias iteraciones.
- Diferencias laterales (3:00 y 9:00 horas) son corregidas por movimiento lateral del motor. Diferencias verticales (12:00 y 6:00 horas) son corregidas adicionando o removiendo adecuadamente las alzas, no puede exceder más de cinco alzas porque se puede generar un montaje blando en aquel pie del motor. Esta condición puede causar problemas dinámicos.

Figura 21 Arreglo del indicador para alineamiento paralelo

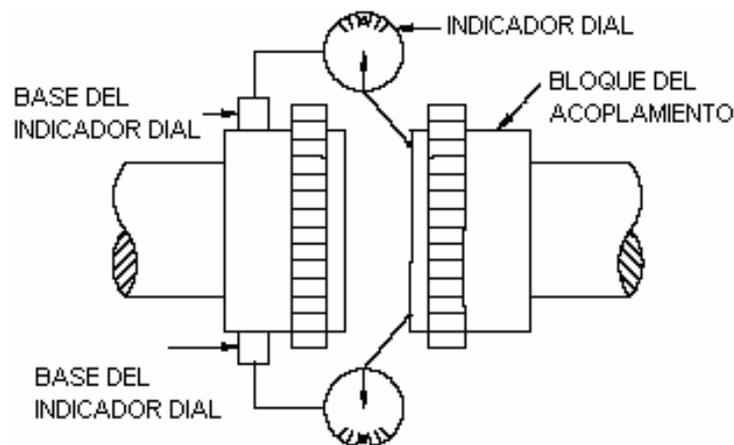


4.4.1.2. Alineamiento angular

- Separe axialmente las mitades del acoplamiento hasta el máximo juego axial, fije el reloj comparador en un lado del acoplamiento con el botón indicador posicionado contra la superficie vertical maquinada en el otro lado del acoplamiento. Fije un segundo indicador desfasados 180 grados. Ver figura 22.

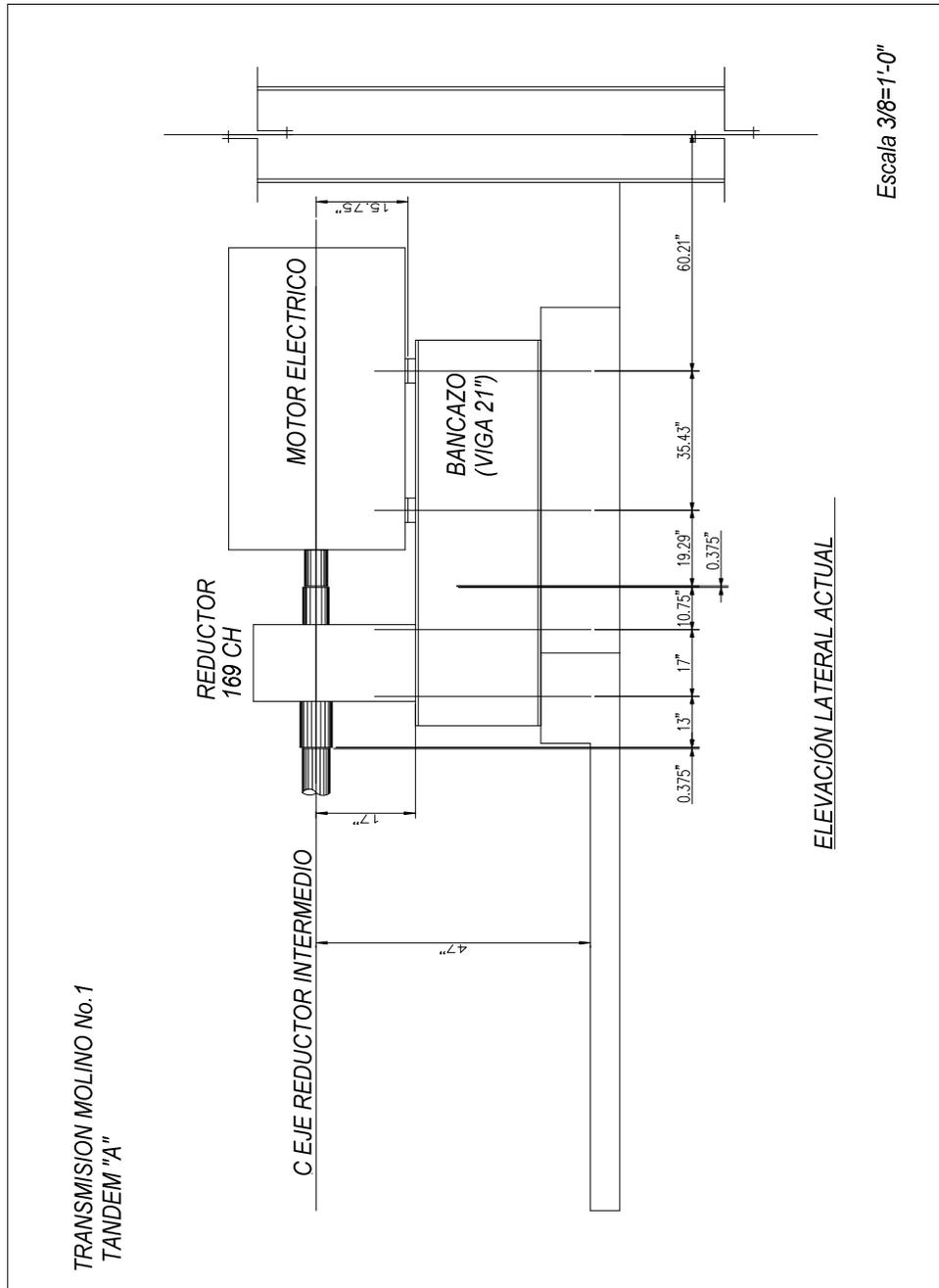
- Marque las localizaciones del botón indicador con una marca visible.
- Ajuste los dos indicadores de mostrador en cero.
- Después, con cada acoplamiento en máximo desplazamiento axial, gire las dos mitades del acoplamiento en incrementos de 90 grados. Leer y registrar cada posición angular del eje con el indicador en 3:00, 6:00, 9:00 y 12:00 horas. Dos indicadores de mostrador desfasados de 180 grados, son usados para posible desplazamiento axial de un eje en relación al otro.
- Use la diferencia de lecturas entre los dos indicadores para determinar el desalineamiento angular entre las dos mitades del acoplamiento.
- Adicione o remueva alzas bajo los pies conforme sea necesario para corregir el desalineamiento en el plano vertical.
- Un movimiento lateral/angular de la unidad es requerido para corregir desalineamiento en el plano horizontal. Continuar el procedimiento de alineamiento angular hasta que este no exceda 0,0015 pulgadas. Esto puede requerir varias iteraciones.

Figura 22 Arreglo de indicadores para alineamiento angular



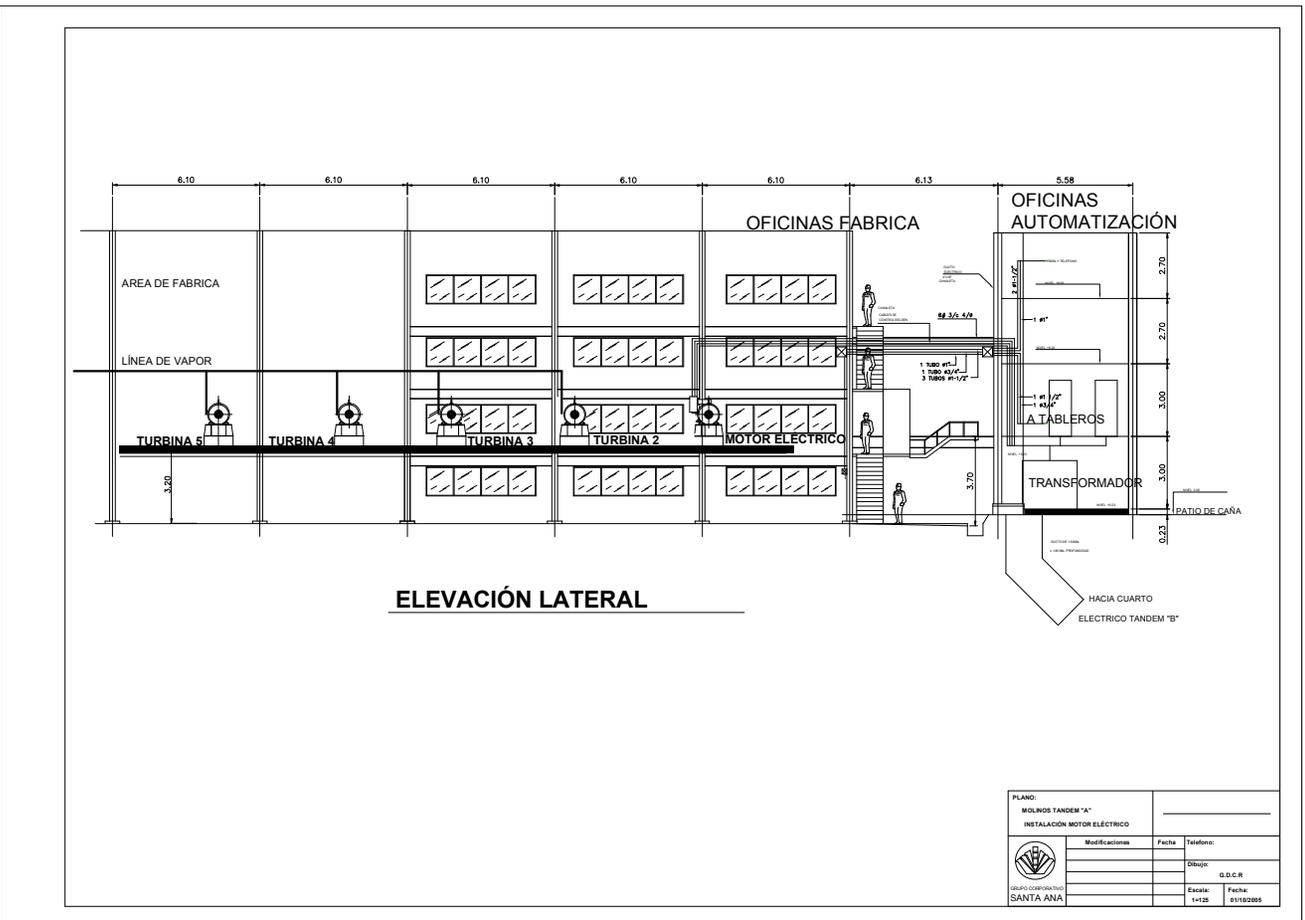
En la figura 23 se puede observa el equipo instalado, tanto del motor eléctrico como del reductor de alta. Las medidas de su bancazo o cimentación que se modificaron para el montaje del motor eléctrico.

Figura 23 Diagrama del equipo instalado



En la figura 24 se muestra como esta distribuida la alimentación eléctrica para el motor, las cuales vienen del cuarto de transformadores que se encuentran en la planta baja de las oficinas de automatización.

Figura 24 Diagrama de líneas de alimentación eléctrica



5. GUÍA DE MANTENIMIENTO PARA EL MOTOR ELÉCTRICO

5.1. Plan de mantenimiento

Un plan de mantenimiento es una serie de procedimientos, con los cuales aseguraremos que nuestro equipo mantendrá un mantenimiento preventivo de primera calidad. Dicho plan de mantenimiento debe de constar de los siguientes pasos: frecuencia de mantenimiento, procedimientos de mantenimiento, lista de repuestos.

5.1.1. Frecuencia de mantenimiento

La frecuencia de mantenimiento de los equipos va a depender primero de lo que el fabricante indique en el manual de operación del equipo y, segundo, de las condiciones de operación del equipo, por ejemplo, si el equipo está trabajando en un lugar muy contaminado, será necesario realizar mantenimientos con mayor frecuencia. Y por ello el fabricante recomienda que el primer mantenimiento se deba realizar después de 2 años de operación. Ver apéndice, figura 42.

El mantenimiento del motor se realizará con una frecuencia de 6 meses, debido a que en la época de producción no se puede detener el proceso de producción, es por ello que en la época de reparación es donde se le realizara el mantenimiento a dicho motor, después de que hallan transcurrido los 2 años de operación.

5.1.2. Procedimiento de mantenimiento

Un procedimiento de mantenimiento es una lista de pasos necesarios que se deben de seguir y estos deben de ser entregados a los técnicos, para la realización del mantenimientos del equipo; estos pasos deben de ser elaborados por las indicaciones que el fabricante señala en el manual de la operación y mantenimiento del equipo; a veces también deben de ser tomadas en cuenta las sugerencias de los mismos técnicos para la realización eficiente y rápida del mantenimiento.

El procedimiento con el cual se realizará el mantenimiento del motor eléctrico, se describe en la primera parte de la hoja de mantenimiento, figura 25, el procedimiento a seguir es el que actualmente lleva acabo en el departamento eléctrico del ingenio, el cual es para un mantenimiento mayor de un motor eléctrico.

5.1.3. Lista de repuestos

El último de los pasos del procedimiento y no por eso menos importante es la lista de repuestos, que deben ser cambiados. Esta lista de partes se debe elaborar de los manuales técnicos del equipo, en los cuales se indica que repuestos deben de ser cambiados, de acuerdo con el tiempo de operación. Por ejemplo, si en un motor, se esta realizando un mantenimiento mayor, por lo regular el manual indica el número de cojinetes que deben de utilizarse en el motor, para su reemplazo.

La lista de materiales y repuestos se describe en la segunda parte de la hoja de mantenimiento del motor eléctrico, figura 25.

Figura 25 Hoja de mantenimiento del motor eléctrico

TAREAS MANTENIMIENTO PROGRAMADO					
Codigo de Tarea:	R065108				
Nombre tarea:	Mantenimiento Motor Molino #1 T"A"				
Codigo del equipo:	0703-1359				
Planificador:					
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; font-size: 24px; font-weight: bold;">A</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; font-size: 24px; font-weight: bold;">C</div>  </div>					
Breve Descripción de la tarea.					
1. Mantenimiento General Motor Electrico					
Definición de Actividades	Texto Extendido				
1	Prueba inicial	Meguear y rotar para verificar estado de cojinetes			
2	Limpieza y desarme	Exterior			
3	Limpieza de embobinado				
4	Limpieza y revision de partes	Revisar cojinetes, eje, tapaderas, etc. Cambiar o rectificar si necesario			
5	Amar y probar	Tomar amperaje			
2. Materiales					
	Descripción	Unidad	Cantidad	Cod.almacen	# Vales
1	Diesel	GLS	1	3	
2	Detergente En Polvo (Bolsa Gigante) Jabon 9 Kgs Generico	c/u	1	26136	
3	Desplazante De Humedad	GLS	1	7453	
4	Afiojalotodo Kem-A-Loose En Spray Kem	c/u	1	17530	
5	Desengrasante Base Agua Bio Citrus Alkemy	GLS	0.5	79110	
6	Grasa P/Alta Temperatura LGHQ3 SKF	LBS	1	72505	
7	Barniz Gliptal Rojo 1201(ER-41) Generico	GLS	1	15634	
8	Rollo De Cinta De Aislar 33 Scotch 3M	c/u	1	15526	
9	Acetileno	c/u	1	5053	
10	Oxigeno	c/u	1	5049	
11	Wippe Generico	LBS	1	17402	
12	Cojinete anterior	c/u	1	3656	
13	Cojinete posterior	c/u	1	3656	
14					
3. Mano de Obra					
#. Act	Tipo Mano de Obra	Código Efectuó Mantenimiento	Duración (hrs)	Codigo Paro	Duracion Paro
1	Electrico /Ayudante				
2	Electrico /Ayudante				
3	Electrico /Ayudante				
4	Electrico /Ayudante				
5	Electrico /Ayudante				
Observaciones					
Fecha de Inicio Tarea		Fecha de Fin Tarea		Nombre Responsable :	
				Firma Conformidad Trabajo	

5.2. Análisis VOSO

El análisis VOSO es sin duda el tipo de mantenimiento más económico y fácil de realizar, debido a que no se tiene que invertir en dicho mantenimiento. El VOSO no es más que ver, oír, sentir y oler. Dicho mantenimiento se puede realizar con una frecuencia diaria, ya que si la industria es muy grande puede programar rutinas de control de diferentes áreas, para uno de los técnicos del grupo de mantenimiento con el fin de que reporte cualquier cambio en el funcionamiento de los equipos. Para esto, se utiliza una hoja de ruta de medición de parámetros y análisis VOSO, como se muestra en la figura 26.

5.2.1. Ver

Ver es observar los equipos detenidamente, con el fin de poder prevenir cualquier problema, como por ejemplo, si en la línea de producción se cuenta con un motor de carbones y estos se pueden observar sin necesidad de parar el motor, el eléctrico que realiza dicha inspección puede reportar el estado de dichos carbones, por si fuera necesario, se programe un cambio de los mismo, ya que si se cambian podrían causar un problema en el colector de dicho motor, por lo tanto, el observar el equipo por una persona específica puede ayudar a reducir el mantenimiento correctivo y, por lo mismo, se puede producir más con menos paradas no programadas.

5.2.2. Oír

El oír significa que se debe de escuchar cualquier ruido extraño que se presente en el funcionamiento de la máquina; dichos sonidos pueden ser que zumbe, un golpe, que exista fricción, etc., por lo que escuchar cualquier ruido extraño en la

máquina con anticipación puede prevenir cualquier problema dentro del proceso, en el cual se encuentra la máquina.

5.2.3. Sentir

El sentir significa que el técnico que se encarga de dicha revisión de los equipos pueda sentir cualquier calentamiento, que ha sido provocado por diferentes problemas que se encuentren en la máquina. Por ejemplo, en este caso se trata de un motor con tan solo tocar la carcasa puede sentir cualquier calentamiento en los bobinados; estos pueden ser provocados por una sobre corriente que circula en los bobinados o por la falla del aislamiento; dicho motor cuenta con un reductor, con tan solo tocarlo se puede identificar cualquier problema en el mismo.

5.2.4. Oler

Oler es percibir cualquier olor diferente que se presente dentro del equipo que va a revisar, dichos olores son provocados, por ejemplo, por la fricción, es el rozamiento de los cojinetes o por la falta de lubricación de los mismos, o también por el fallo del aislamiento de los mismos.

En la figura 26 se muestra la hoja de la ruta medición de parámetros y análisis VOSO para los motores del área de preparación y molienda del Tandem A.

5.3. Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo para los motores eléctricos en general consiste, básicamente, en la realización periódica de las siguientes actividades

5.3.1. Limpieza

Es necesario que los motores eléctricos se encuentren libres de polvo y suciedad, ya que este factor incide directamente en el funcionamiento de los mismos. Un motor cubierto de polvo, no es capaz de disipar correctamente la temperatura de trabajo, pudiendo llegar a un punto extremo de deteriorarse el aislamiento del motor puede ocasionar que el elemento de funcionamiento del mismo, trabaje inadecuadamente, tal es el caso del interruptor centrífugo o bujes, etc.

El área donde se encuentra instalado el motor, tiende a contaminarse con partículas de bagacillo, que se encuentran suspendidas en el ambiente, debido a esto el período de limpieza y lubricación de acople del motor se ejecutará cada 8 días, por lo general se realiza el día lunes, dado que ese día se detiene la maquinaria para un mantenimiento preventivo menor.

La limpieza de la carcasa del motor eléctrico se realizará con aire comprimido para la eliminación de partículas de polvo y bagacillo.

En la figura 27 se muestra la ruta para la limpieza de motores del área de preparación y molienda del Tandem A.

Figura 27 Hoja ruta limpieza de motores

<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%; padding: 2px;">Código Tarea:</td> <td style="padding: 2px;"></td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Nombre tarea:</td> <td style="padding: 2px;">Limpieza de motores</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Nombre de la ruta:</td> <td style="padding: 2px;">Motores de preparacion y molienda TA</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Fecha</td> <td style="padding: 2px;"></td> </tr> </table>		Código Tarea:		Nombre tarea:	Limpieza de motores	Nombre de la ruta:	Motores de preparacion y molienda TA	Fecha		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">Frecuencia</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px; text-align: center;">8 Dias</td> </tr> </table>	Frecuencia	8 Dias																	
Código Tarea:																													
Nombre tarea:	Limpieza de motores																												
Nombre de la ruta:	Motores de preparacion y molienda TA																												
Fecha																													
Frecuencia																													
8 Dias																													
Breve Descripción de la tarea.																													
Limpieza de motores																													
		Limpieza de Tapadera y Rejilla																											
No.	Codigo	Nombre Motor	EFECTUADO	OBSERVACIONES																									
1	0732-0011	Motor #1 de Virador Hidráulico Fijo T.A.	SI	NO																									
2	0732-0684	Motor Conductor de Basura T.A.	SI	NO																									
3	0732-0092	Motor Movimiento Hidráulico Conductor #1 T.A.	SI	NO																									
4	0732-0149	Motor Movimiento Mecánico Conductor #1 T.A.	SI	NO																									
5	0732-0049	Motor Movimiento Hidráulico Conductor caña #2 T.A.	SI	NO																									
6	0732-0478	Motor Movimiento Mecánico Conductor caña #2 T.A.	SI	NO																									
7	0732-0023	Motor de Movimiento Hidráulico Conductor Auxiliar T.A.	SI	NO																									
8	0732-0946	Motor de Movimiento Mecánico Conductor Auxiliar T.A.	SI	NO																									
9	0732-0957	Motor Auxiliar Movimiento Conductor faja de hule TA.	SI	NO																									
10	0732-0467	Motor de Conductor faja de hule TA.	SI	NO																									
11	0732-0159	Motor Movimiento Mesa # 1 T.A.	SI	NO																									
12	0732-0022	Motor Nivelador Mesa #1 T.A.	SI	NO																									
13	0732-0015	Motor Movimiento Mesa # 2 TA.	SI	NO																									
14	0732-0017	Motor Movimiento Mesa # 3 T.A.	SI	NO																									
15	0732-0961	Motor Nivelador Mesa # 3 T.A.	SI	NO																									
16	0732-0019	Motor Movimiento Mesa # 4 T.A.	SI	NO																									
17	0732-0031	Motor de Picadora #1 T.A.	SI	NO																									
18	0732-0032	Motor de Picadora #2 T.A.	SI	NO																									
19	0732-0891	Motor de Picadora #3 T.A.	SI	NO																									
20	0732-0030	Motor de Pre-cuchilla T.A.	SI	NO																									
21	0732-1359	Motor movimiento molino 1 TA.	SI	NO																									
22	0732-0654	Motor conductor intermedio molino 2 TA.	SI	NO																									
23	0732-1225	Motor conductor intermedio molino 3 TA.	SI	NO																									
24	0732-0057	Motor conductor intermedio molino 4 TA.	SI	NO																									
25	0732-0058	Motor conductor intermedio molino 5 TA.	SI	NO																									
26	0732-0059	Motor conductor intermedio molino 6 TA.	SI	NO																									
27	0732-0055	Motor conductor intermedio molino 7 TA.	SI	NO																									
28	0732-0687	Motor de Bomba #1 de maceración TA.	SI	NO																									
29	0732-0690	Motor de Bomba #2 de maceración TA.	SI	NO																									
30	0732-0689	Motor de Bomba #3 de maceración TA.	SI	NO																									
31	0732-0688	Motor de Bomba #4 de maceración TA.	SI	NO																									
32	0732-0691	Motor de Bomba #.5 de maceración TA.	SI	NO																									
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;"></td> <td style="width: 20%; text-align: center;">Inicio</td> <td colspan="2" style="width: 30%; text-align: center;">Termino</td> <td style="width: 10%;"></td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">Fecha</td> <td style="text-align: center;">Hora</td> <td style="text-align: center;">Fecha</td> <td style="text-align: center;">Hora</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>						Inicio	Termino				Fecha	Hora	Fecha	Hora															
	Inicio	Termino																											
	Fecha	Hora	Fecha	Hora																									
Código Trabajador		Efectuada	NO Efectuada																										
Firma Entrega Trabajo		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>																										
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; border: none;"> 1 LLUVIA 2 FALTA DE HERRAMIENTAS 3 TRABAJOS PENDIENTES TALLER MECANICO 4 SUSPENSIÓN 5 AUSENCIA </td> <td style="width: 50%; border: none;"> 6 FALTA DE REPUESTOS 7 TAREAS NO PROGRAMADAS 8 PROYECTOS NUEVOS 9 OTRAS TAREAS </td> </tr> </table>					1 LLUVIA 2 FALTA DE HERRAMIENTAS 3 TRABAJOS PENDIENTES TALLER MECANICO 4 SUSPENSIÓN 5 AUSENCIA	6 FALTA DE REPUESTOS 7 TAREAS NO PROGRAMADAS 8 PROYECTOS NUEVOS 9 OTRAS TAREAS																							
1 LLUVIA 2 FALTA DE HERRAMIENTAS 3 TRABAJOS PENDIENTES TALLER MECANICO 4 SUSPENSIÓN 5 AUSENCIA	6 FALTA DE REPUESTOS 7 TAREAS NO PROGRAMADAS 8 PROYECTOS NUEVOS 9 OTRAS TAREAS																												

5.3.2. Lubricación

Los motores eléctricos son máquinas rotativas, cuyo giro se produce alrededor de un eje apoyado en bujes o en el cojinete de bolillas o de rodillo. El perfecto estado de los cojines es primordial para el buen desempeño de la máquina. Si estos están en buenas condiciones, la máquina funcionara suavemente sin ruidos, sin atascarse. En cambio, cuando les falta lubricación o están desgastadas, el funcionamiento se produce con ruidos, calentamientos y aún, se llega al caso extremo en que deja de funcionar definitivamente.

El lubricante que se emplea para un determinado tipo de cojinete, así como la forma en que se efectúan la lubricación, no puede quedar libre a la improvisación.

La lubricación de los rodamientos del motor eléctrico se realizara en base a las especificaciones del manual de fabricante¹⁰, como se indica a continuación:

Instrucciones de lubricación.

1. Seleccionando las condiciones de servicio de la tabla III
2. Seleccionando la frecuencia de lubricación de la tabla IV
3. Seleccionando el volumen de lubricante de la tabla V

Tabla III. Condiciones de servicio

Condiciones Rigurosas	Ocho horas al día, carga normal o liviana, aire ambiente limpio a 40°C (104°F) como máximo
Condiciones Estándar	Funcionamiento las veinticuatro horas del día o cargas de impacto, vibraciones, aire ambiente contaminado con suciedad o polvo a 40-50°C (104-122°F)
Condiciones Extremas	Impactos, vibraciones fuertes o polvo

¹⁰ Reliance Electric; Instalación, operación y mantenimiento de los motores de inducción industriales estándar de CA Reliance.

Tabla IV. Frecuencia de lubricación

RODAMIENTO ESFERICOS				
Velocidad	Bastidor NEMA (IEC)	Condiciones Estándar	Condiciones Rigurosas	Condiciones Extremas
1800 RPM o Menos	182 (112) hasta 215 (132)	3 Años	1 Año	6 Meses
	254 (160) hasta 365 (200)	2 Años	6 a 12 Meses	3 Meses
	404 (225) hasta 449 (280)	1 Año	6 Meses	1a 3 Meses
3600 RPM	Todos	6 Meses	3 Meses	1 Mes
RODAMIENTO DE RODILLO				
Para los radamiento de rodillo divida entre 2 los períodos anteriores				

Tabla V. Volumen de lubricante

Tamaño del Bastidor NEMA (IEC)	Volumen en Pulgadas Cúbicas (cm3)
182 hasta 215 (112-132)	0.5 (8)
254 hasta 286 (160-180)	1,0 (16)
324 hasta 365 (200-225)	1,5 (25)
404 hasta 449 (250-280)	2,5 (41)

Como el motor se encuentra bajo condiciones de servicio estándar, la velocidad de rotación del motor es de 3600 rpm y el tipo de rodamiento que utiliza son esféricos.

Por lo que se puede concluir que el tiempo de lubricación se debe realizar en un período de 6 meses, y con una cantidad de 1.5 plg³ de lubricante.

El tipo de lubricante a utilizar recomendado por el fabricante es:

Texaco, Inc. Premium RB.

Shell Oil Co. Dolium R.

5.3.3. Pruebas de funcionamiento

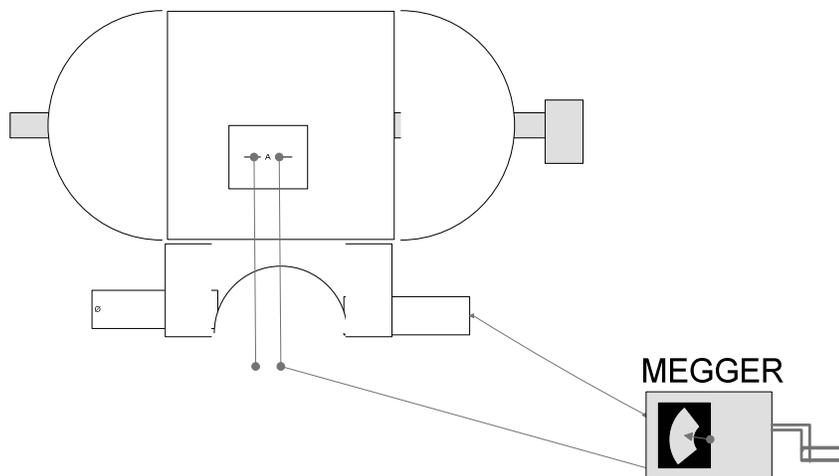
Existen algunas pruebas que sirven para verificar el funcionamiento del motor, de las cuales unas de las más importantes es la medición de corrientes consumidas por la fase o de las fases (dependiendo del tipo de motores) con carga y sin carga. Es decir, que se debe medir corriente consumida de cada fase cuando se tiene el motor conectado a plena carga y en vacío, con el objeto de comparar la corriente real con la corriente que indica el motor en la placa de características. De la misma manera, se puede medir el número de revolución por minuto con que trabaja el motor (esto si se cuenta con un tacómetro y compararlo con la placa), en nuestro caso se cuenta con un transmisor de revoluciones, el cual se lleva la medición de la velocidad desde el sistema de instrumentación de los equipos del área de molinos, y la medición de amperaje se realiza y se lleva un control de ello en la hoja ruta de medición de parámetros y análisis VOSO. Ver figura 26.

Otra prueba que es absolutamente necesario realizar, es el chequeo del estado de los cojinetes o del bushing, según el caso, controlando si existe mucho juego entre el eje y el cojinete, o sea observar que tan flojo queda el eje dentro del dispositivo de rodamiento. El tiempo de vida de los cojinetes bushing depende de la continuidad de uso del motor. Por lo que, se recomienda cada dos meses aproximadamente se revise el estado del los mismos.

5.3.4. Pruebas de aislamiento

Es necesario que cada 4 a 6 meses se verifique el estado de aislamiento, con el objeto de evitar posibles fallas por puestas a tierra. Estas actividades se deben realizar combinando una inspección visual con la medición del aislamiento, por medio de un meger o megómetro, o en un efecto, con un ohmiómetro; como se muestra en la figura 28, asimismo, efectuara una inspección del aislamiento de los arrollamientos o bobinas. Esta medición realiza a la hora de un mantenimiento menor o mayor.

Figura 28 Verificación de aislamiento con el Megger



5.3.5. Ficha técnica

La realización de la ficha servirá para poder conocer las características del motor de inducción, al momento de realizar algún mantenimiento o reparación del mismo, asimismo tener en bodega los cojinetes respectivos del motor que se van a utilizar al momento de realizar un reemplazo de los mismos.

A continuación se detallan los parámetros que se deben tomar para la realización de la ficha técnica.

Código del motor:

Este se lo asigna la empresa para tener un control de cuantos motores existen en un área específica.

Departamento:

Es el nombre del departamento en el cual se encuentra operando dicho motor.

Fecha de recibido:

Esta es la fecha de adquisición, esta es muy importante para conocer, cual fue la fecha que entro en operación dicho motor.

Marca:

Marca de motor o de la fabrica que lo construyo.

Modelo:

El modelo del motor.

Serie:

La serie del motor.

Voltaje:

El voltaje de entrada del motor.

Amperaje:

La carga se le debe trabajar al motor.

RPM:

Indica el numero de revoluciones a la trabaja el motor, a plena carga, por lo que es un parámetro muy importante dentro del funcionamiento del mismo.

Frame:

Este es uno de los parámetros que indica los detalles físicos de construcción.

Cojinetes lado delantero y lado trasero:

Se debe tener conocimiento del tipo, tamaño y número de cojinete que utiliza el motor en cada una de sus extremos. Es conveniente consultar el manual del fabricante del motor para poder tener el registro de los mismos, para que así en futuros mantenimientos se pueda si fuera necesario, poder los pedir con tiempo, ya que por lo general no se encuentra en el mercado.

En la figura 29 se puede observar la ficha técnica del motor eléctrico instalado, con todas las características anteriormente descritas.

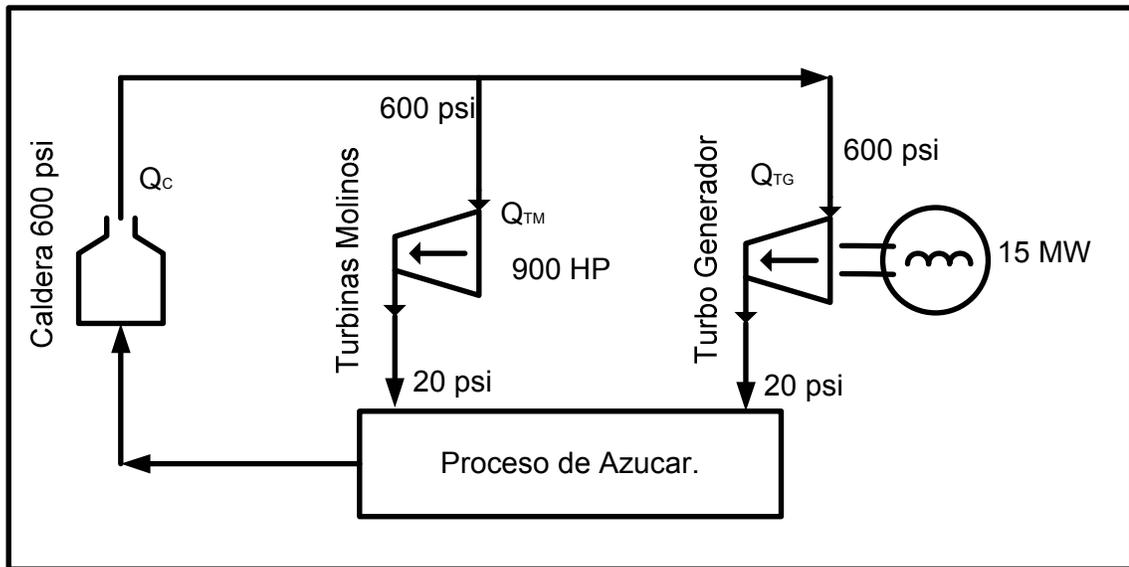
Figura 29 Ficha técnica de un motor eléctrico

 INGENIO SANTA ANA MOTORES ELECTRICOS					
<u>CÓDIGO DE MOTOR</u>		<u>AREA DE UBICACIÓN</u>		<u>FECHA RECIBIDO</u>	
0732-1359		MOLINOS TANDEM A		20-11-05	
<u>No MOTOR</u>	<u>HP</u>	<u>RPM</u>	<u>VOTAJE</u>	<u>AMPS</u>	<u>FRAME</u>
A1-25	900	3600	2400/4160	257/149	35BGOZ
<u>MARCA</u>		<u>MODELO</u>		<u>SERIE</u>	
RELIANCE				VAZ7158063-001-AS-IJ	
<u>COJINETE DELANTERO</u>	<u>Nuevo/Usado</u>	<u>COJINETE TRASERO</u>	<u>Nuevo/Usado</u>		
120BC02J30X	N	120BC02J30X	N		
<u>NOMBRE DE LA UBICACIÓN</u>					
MOVIMIENTO DEL MOLINO #1 T.A.					
<u>OBSERVACIÓN</u>			<u>RESPONSABLE</u>		
			ING. JOSE LUIS MARTINEZ		
			<u>FECHA ULTIMA REPARACIÓN</u>		

6. EVALUACIÓN TÉCNICO ECONÓMICA

6.1. Análisis económico del proyecto

Figura 30 Circuito de vapor actual



En la figura 30 se muestra el circuito de vapor actual, el cual incluye la caldera, las turbinas de los molinos y el turbogenerador.

Dicho circuito se conocen los datos más importantes para el análisis, lo cuales fueron extraídos de las placas de cada equipo, y son los siguientes:

Los datos de la caldera son:

Acuotubular:

Presión máxima de trabajo: 600 psi

Capacidad de 200,000 lb. Vapor/ hora.

Los datos de la placa de la turbina son:

Marca Elliot.

Consume 23.96 lb.hr/Hp

Presión de trabajo: 600 psi

Potencia máxima de 900Hp

Los datos del turbogenerador son:

Consume 13.2 lb. Kw./hr.

Es decir que para producir 1 Kw. necesita 13.2 lb. de vapor por hora.

Capacidad de 15 Mw. = 15.000 Kw.

Los datos técnicos de la turbina son; consume 23.96 lb.-hora/HP a 600 psi con lo cual generan una potencia de 900 HP.

Calculando el consumo de vapor en lb. / h, se tiene;

$$q't = 23.96 \text{ lb./h/HP } y \text{ } 900 \text{ HP}$$

$$Q_t = HP \times q't$$

$$Q_t = 900HP \times 23.96 \text{ lb./h/HP}$$

$$Q_t = 21,564 \text{ lb./h}$$

Donde:

$q't$ = Cantidad de vapor por hora consumida por una turbina para generar un HP.

Q_t = Cantidad de vapor consumida para generar 900 HP.

Se realizará el análisis actual del consumo de vapor por las 5 turbinas.

$$Q_{tm} = 5 \times Q_t$$

$$Q_{tm} = 5 \times 21,564$$

$$Q_{tm} = 107,820 \text{ lb./h}$$

De donde el consumo actual del turbogenerador es:

$$Q_{tg} = Q_{cal} - Q_{tm}$$

$$Q_{tg} = 200,000 - 107,820 \text{ lb./h}$$

$$Q_{tg} = 92,180 \text{ lb./h}$$

Donde:

Q_{tg} = Cantidad de vapor que recibe el turbogenerador.

Q_{cal} = Cantidad de vapor suministrada por la caldera.

Q_{tm} = Cantidad de vapor consumida en área turbinas de los molinos.

En el resultado anterior se puede observar que la cantidad de vapor que recibe el turbogenerador es de 92,180 lb. /h.

Tomando los datos técnicos del turbogenerador, según datos de la placa, tenemos, que para producir 1 Kw. necesita 13.2 lb. / h.

Lo que equivale:

$$P_{tg} = \frac{Q_{tg}}{q'_{tg}}$$

$$q'_{tg} = 13.2 \text{ lb./h}$$

$$Q_{tg} = 92,180 \text{ lb./h}$$

$$P_{tg} = \frac{92,180 \text{ lb./h}}{13.2 \text{ lb./Kw.}}$$

$$P_{tg} = 6,983.33 \text{ Kw.h}$$

Ahora analizando la sustitución de la turbina por el motor eléctrico de 900 HP.

Como se sabe que;

$$1 \text{ HP.} = 0.746 \text{ Kw.}$$

Entonces tenemos:

$$900 \text{ HP} = 671.4 \text{ Kw.}$$

Para producir 671.4 Kw. el turbogenerador requiere.

$$Q_m = 671.4 \text{ Kw.} \times 13.2 \text{ Lb. / h / Kw.}$$

$$Q_m = 8,862.48 \text{ lb./h}$$

Donde:

Q_m = Cantidad de vapor que requiere el turbogenerador para generar 900 HP.

Se procederá a calcular el ahorro que se tendrá al sustituir la turbina por el motor eléctrico, se tiene:

$$Q_{ah} = Q_t - Q_m$$

$$Q_{ah} = 21,564 - 8,862.48$$

$$Q_{ah} = 12,701.52 \text{ lb./h}$$

Donde:

Q_{ah} = Cantidad de vapor ahorrado.

Al conocer la cantidad de vapor ahorrado al sustituir la turbina por el motor eléctrico, se calcula la cantidad de energía eléctrica que producirá el turbogenerador al aprovechar este vapor.

$$q'_{tg} = 13.2 \text{ lb./h}$$

$$Q_{ah} = 12,701.52 \text{ lb./h}$$

$$Kw_a = \frac{Q_{ah}}{Q_{tg}}$$

$$Kw_a = \frac{12,701.52 \text{ Lb./h}}{13.2 \text{ Lb/Kw.}}$$

$$Kw_a = 962.24 Kw.h$$

Se realiza el análisis para el futuro, al sustituir por completo todas las turbinas por los motores eléctricos.

Sustituyendo para las cinco turbinas, la producción de energía eléctrica en el generador será:

$$Kw_t = 5 \times Kw_a$$

$$Kw_t = 5 \times (962.24)$$

$$Kw_t = 4,811.2 \text{ Kw}$$

Entonces al sustituir las cinco turbinas, el turbogenerador estaría entregando la cantidad de energía eléctrica de:

$$P_T = P_{TG} + Kw_T$$

$$P_T = 6,983.33 + 4,811.2$$

$$P_T = 11,794.51 \text{ Kw}$$

6.1.1. Costos de producción de vapor

Según estudios anteriores en el consumo de vapor por una caldera de 600 psi. se necesitan 2 lb. de bagazo para generar una libra de vapor. Y el costo del bagazo en la industria azucarera es despreciable, ya que se puede tomar como un desecho de la caña de azúcar.

Según mediciones años anteriores del consumo de energía para poner en operación la caldera y los componentes que integran el circuito de vapor que se muestra en la figura 30 es de:

$$46,500 \text{ Kwh}$$

El costo de la energía en temporada de zafra es de Q 0.98/Kwh.¹¹, lo que representa un costo de:

$$C.E = 46,500 \times 0.98$$

$$C.E = Q \ 45,570.00 \text{ por día}$$

Para el tratamiento del agua de alimentación de la caldera, se tienen los siguientes químicos, incluyendo el costo por día:

Tabla VI. Costo de tratamiento de agua por día para la caldera¹²

Químico	Cantidad diaria	Costo	Total
Soda Líquida	17.53 lb./día	Q. 0.97/ lb.	Q. 17.00
Químico 237	10.00 lb./ día	Q. 29.46 / lb,	Q. 294.60
Químico 204	7.75 lb./ día	Q. 20.34 / lb.	Q. 157.64
Químico 271	5.00 lb. /día	Q. 26.55 / lb.	Q. 132.75
Químico 284	1.50 lb./ día	Q. 27.38 / lb.	Q. 41.07
Total tratamiento agua por día:			Q.643.06

En época de zafra las calderas se encuentran operando las 24 horas del día y para ello se cuenta con operarios para 3 diferentes turnos, entre los cuales se

¹¹ Dato proporcionado por el Departamento Administrativo División Industrial.

¹² Datos proporcionados por el departamento de calderas.

tienen; Diurno (turno A), Mixto (turno B) y el Nocturno (turno C), ver costos en la tabla VII.

Tabla VII. Costos de mano de obra por día de operación en la caldera¹³

Puesto	Salario día	Salario hora	Turno A	Turno B	Turno C
Operador caldera	Q 110.30	Q 16.46	Q 137.71	Q 159.94	Q 197.57
Auxiliar caldera	Q 44.14	Q 7.28	Q 58.26	Q 70.75	Q 87.39
Electricista	Q 97.49	Q 14.68	Q 117.50	Q 142.67	Q 176.24
Instrumentista	Q 100.18	Q 15.06	Q 120.48	Q 146.30	Q 180.72
Camequero	Q 48.00	Q 7.81	Q 62.54	Q 75.94	Q 93.81
Peón	Q 43.64	Q 7.21	Q 57.70	Q 70.06	Q 86.55
Costo de mano de obra por turno.			Q 554.19	Q 665.66	Q 822.28
Costo total de mano de obra al día.					Q 2,042.13

Para el costo de la producción de vapor se encuentran involucrados los costos de mantenimiento de la generadora de vapor.

Tabla VIII. Costo de mantenimiento de la caldera¹⁴

AÑO	MES	COSTO
2005	ENERO	
	FEBRERO	
	MARZO	
	ABRIL	
	MAYO	Q. 25,009.71
	JUNIO	Q. 5,422.22
	JULIO	Q. 10,961.49
	AGOSTO	Q.159,656.63
	SEPTIEMBRE	Q. 21,505.22
	OCTUBRE	Q. 80,662.49
	NOVIEMBRE	Q. 82,167.74
DICIEMBRE		
TOTAL 2005		Q 385,385.50

¹³ Fuente Departamento de Recursos Humanos.

¹⁴ Datos proporcionados por el departamento de calderas. Ingenio Santa Ana.

Para tener los costos de mantenimiento de la caldera por día, se tomará el período de zafra el cual tiene una duración promedio de 6 meses, y es:

$$C.M = \frac{Q \ 385,385.50}{6 \text{ mes}} \times \frac{1 \text{ mes}}{30 \text{ d}}$$

$$C.M = Q \ 2,141.30$$

Tomando en cuenta que la caldera produce:

$$Q_c = 200,000 \text{ lb./h}$$

Totalizando el costo para la operación de la caldera por día es:

$$C.O = Q \ 45,570.00 + Q \ 643.06 + Q \ 2,042.13 + Q \ 2,141.30$$

$$C.O = Q \ 50,396.50$$

Y el costo por hora es:

$$C.O/h = \frac{Q \ 50,396.50}{24 \text{ h}}$$

$$C.O/h = Q \ 2,099.85$$

De donde, el costo para producir 1 libra de vapor es:

$$\text{Costo Vapor} = \frac{Q \ 2,099.85/h}{200,000 \text{ lb/h}}$$

$$\text{Costo Vapor} = Q \ 0.01050/lb$$

6.1.2. Costos de generación eléctrica

El costo de la generación de energía eléctrica, se tomará para el turbogenerador de 15MW. Según datos históricos, los costos de mantenimiento de los últimos dos años se muestran en la siguiente tabla:

Tabla IX. Costo anual de mantenimiento turbogenerador 15MW¹⁵

AÑO	MES	COSTO
2004	ENERO	Q. 825.76
	FEBRERO	Q. 83.10
	MARZO	
	ABRIL	
	MAYO	Q. 49,709.71
	JUNIO	Q. 942.22
	JULIO	Q. 1,9991.65
	AGOSTO	Q. 72,167.74
	SEPTIEMBRE	Q. 1,9505.82
	OCTUBRE	Q. 3,4662.13
	NOVIEMBRE	Q.159,656.05
	DICIEMBRE	Q. 41,067.89
TOTAL 2004		Q.398.612.15
2005	ENERO	Q. 38.76
	FEBRERO	Q. 71.97
	MARZO	Q. 152.60
	ABRIL	Q. 559.76
	MAYO	Q. 58.92
	JUNIO	Q. 6,807.10
	JULIO	Q. 4,836.11
	AGOSTO	Q. 9,065.21
	SEPTIEMBRE	Q. 858.29
	OCTUBRE	Q. 38,983.01
	NOVIEMBRE	Q. 2,602.55
	DICIEMBRE	Q. 2,058.13
TOTAL 2005		Q. 84,615.62

¹⁵ Datos proporcionados por el Departamento de Mantenimiento.

El costo del vapor utilizado anualmente por el turbogenerador para su funcionamiento es:

$$CV = Q_{tg} \times Costo \text{ Vapor} \times 24h/d \times 180d$$

$$CV = 92,180 \text{ lb/h} \times Q \text{ 0.01050/lb} \times 24h/d \times 180d$$

$$CV = 4,181,284.80$$

El costo de mantenimiento promedio anual del turbogenerador analizado es de:

$$CM = \left(\frac{CM \text{ 2004} + CM \text{ 2005}}{2} \right)$$

$$CM = \left(\frac{398,612.15 + 84,615.62}{2} \right)$$

$$CM = 241,613.89 \text{ Q}$$

Tomando en cuenta que el promedio anual del los últimos 3 años de generación eléctrica por el turbogenerador de es:

$$14,882,400.00 \text{ Kw.h}^{16}$$

Al igual de la operación de la caldera, el turbogenerador cuenta con 3 diferentes turnos de operación, los costos de mano de obra se muestran en la tabla X.

¹⁶ Dato proporcionado por el Departamento Administrativo División Industrial.

Tabla X. Costos de mano de obra por día de operación de turbogenerador¹⁷

Puesto	Salario día	Salario hora	Turno A	Turno B	Turno C
Operador Turbo	Q 150.50	Q 22.04	Q 176.35	Q 214.14	Q 264.53
Auxiliar Turbo	Q 72.00	Q 11.14	Q 89.20	Q 108.30	Q 133.80
Costo de mano de obra por turno.			Q 265.55	Q 322.44	Q 398.43
Costo total de mano de obra al día.					Q 986.42

El costo de operación diario es igual a:

$$C.O = 986.42 \text{ Q}$$

El costo de operación anual es igual a:

$$C.O_{anual} = CO \times 180 \text{ dias}$$

$$C.O_{anual} = 986.42 \times 180$$

$$C.O_{anual} = 177,556.10 \text{ Q}$$

Finalmente, se tiene que el costo total para la producción de 14,882.400 Kw h.:

$$C.T = \text{Costo Vapor} + \text{Costo Mantenimiento} + \text{Costo Operación}$$

$$C.T = \text{Q } 241,613.89 + \text{Q } 177,556.10 + \text{Q } 4,181,284.80$$

$$C.T = \text{Q } 4,600,454.79$$

¹⁷ Fuente Departamento de Recursos Humanos.

De donde se obtiene el costo de un 1Kwh es:

$$CE = \frac{Q \ 4,600,710.79}{14,882,400.00Kwh}$$

$$CE = Q \ 0.31/ Kwh$$

6.1.3. Costos de inversión del proyecto

El equipo necesario para la puesta en marcha del presente proyecto se muestra en la tabla XI.

Tabla XI. Costo de equipo, materiales y mano de obra para la puesta en marcha del proyecto

Descripción	Cantidad	Costo U.	Costo Total
Motor eléctrico 900 HP	1	Q. 490,000.00	Q. 490,000.00
VFD	1	Q. 988,000.00	Q. 988,000.00
CCM 2.4 KV	1	Q. 532,000.00	Q. 532,000.00
Transfo. 75 KVA auxiliar	1	Q. 121,600.00	Q. 121,600.00
Cable MV-90 500 MCM	2000	Q. 83.60	Q. 167,200.00
Cable MV-90 4/0	100	Q. 60.80	Q. 6,080.00
cable MV-90 2/0	600	Q. 13.01	Q. 7,806.00
A/C	1	Q. 129,200.00	Q. 129,200.00
Tubería y accesorios	1	Q. 152,000.00	Q. 152,000.00
Mano de Obra	1	Q. 197,600.00	Q. 197,600.00
Materiales Obra Civil	1	Q. 190,000.00	Q. 190,000.00
Costo Total del Proyecto			Q.2,981,486.00

De acuerdo a las tablas anteriores, el costo total de la inversión es:

$$\text{Costo Inversion} = Q \ 2,981,486.00$$

Entonces:

Ahora se analizará la utilidad del proyecto la cual es:

Cantidad de energía ahorrada por la sustitución del motor por la turbina, es:

$$Kw_a = 962.24 \text{ Kw.}$$

Costos de Generación:

$$CG = 962.24Kw \times 24h / d \times 180d \times Q.0.31 / Kwh$$

$$CG = Q \ 1,288,631.808$$

Ingresos por la venta de energía ahorrada:

Precio a la venta de energía eléctrica es de: Q 0.587 Kwh.¹⁸

$$Ingresos = 962.24Kw \times 24h / d \times 180d \times Q.0.587 / Kwh$$

$$Ingresos = Q \ 2,440,086.68$$

¹⁸ Precio de venta de la energía eléctrica, Fuente: Área de Generación Eléctrica, Ingenio Santa Ana. S.A.

Utilidad de la energía ahorrada es de:

$$Utilidad = Ingresos - Costo \text{ Generaci\`on}$$

$$Utilidad = Q \ 2,440,086.68 - Q \ 1,288,631.808$$

$$Utilidad = Q \ 1,151,454.88$$

El tiempo de recuperación del proyecto es de:

$$Tiempo \ recuperaci\`on = Costo \ inversi\`on / Utilidad$$

$$Tiempo \ recuperaci\`on = Q \ 2,981,486.00 / Q \ 1,151,454.88$$

$$Tiempo \ recuperaci\`on = 2.6 \ a\`nos$$

El tiempo de recuperación es aproximadamente en 3 años.

6.2. Análisis costo – beneficio del proyecto

Este método se establece con el fin de evaluar la eficiencia con que utiliza los recursos un proyecto determinado. Si los ingresos superan a los costos el proyecto es aceptable, en caso contrario el proyecto debe ser rechazado.

El criterio formal de decisión cuando se utiliza la relación Beneficio/Costo para evaluar alternativas, consiste en aceptar todos aquellos cuya relación beneficio/costo sea 1 o superior a 1. Si el resultado es menor que 1, ello indica

que el valor actual de los ingresos serian menor que el valor actual a los costos y no se estaría recuperando la inversión.

La relación Beneficio/Costo esta representada por:

$$\textit{Beneficio / Costo} = \textit{Ingresos / Egresos}$$

$$\textit{Beneficio / Costo} = Q \ 2,440,086.68 / Q \ 1,288,631.808$$

$$\textit{Beneficio / Costo} = 1.89$$

Como la relación Beneficio/Costo es mayor de 1, esto implica que los ingresos son mayores a los egresos, entonces el proyecto se recomienda para su ejecución.

6.2.1. El valor presente neto

Esta es una alternativa para toma de decisiones de inversión, lo cual permite determinar de antemano si una inversión vale la pena o no realizarla, y no hacer malas inversiones que provoquen en un futuro pérdidas.

El valor presente neto (VPN) puede desplegar tres posible repuestas, la cuales pueden ser:

$$\text{VPN} < 0$$

$$\text{VPN} = 0$$

$$\text{VPN} > 0$$

Cuando el $VPN < 0$ y el resultado es un valor negativo muy grande alejado de cero, esta alertando o previniendo que el proyecto no es rentable, ya que se está estimando que habrán poco ingresos y en el tiempo que se pretende recuperar la inversión no se logrará, pero cuando nos da un $VPN < 0$ cercano a cero nos esta indicando, que la opción puede ser rentable y se pretende obtener una tasa de utilidad muy grande.

Cuando el $VPN = 0$ esta indicando que exactamente se esta generando el porcentaje de utilidad que se desea, y cuando el $VPN > 0$, esta indicando que la opción es rentable y que inclusive podría incrementarse el porcentaje de utilidad.

Figura 31 Diagrama de flujo de efectivo

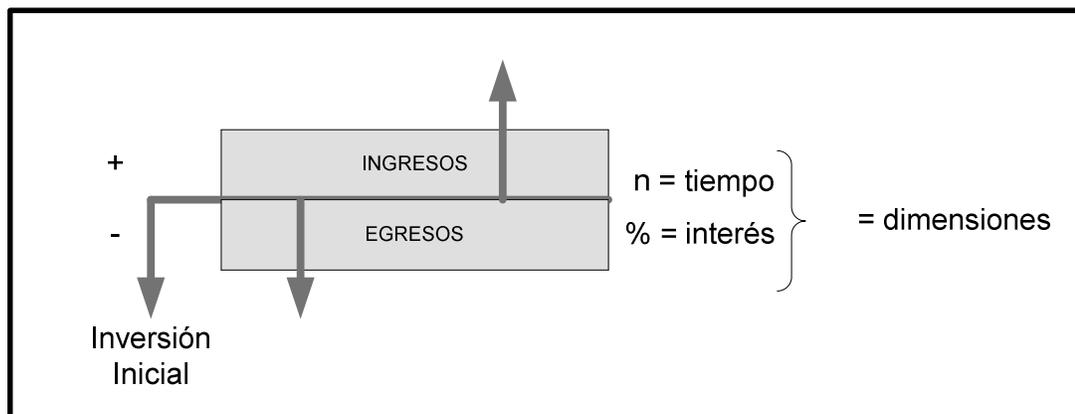
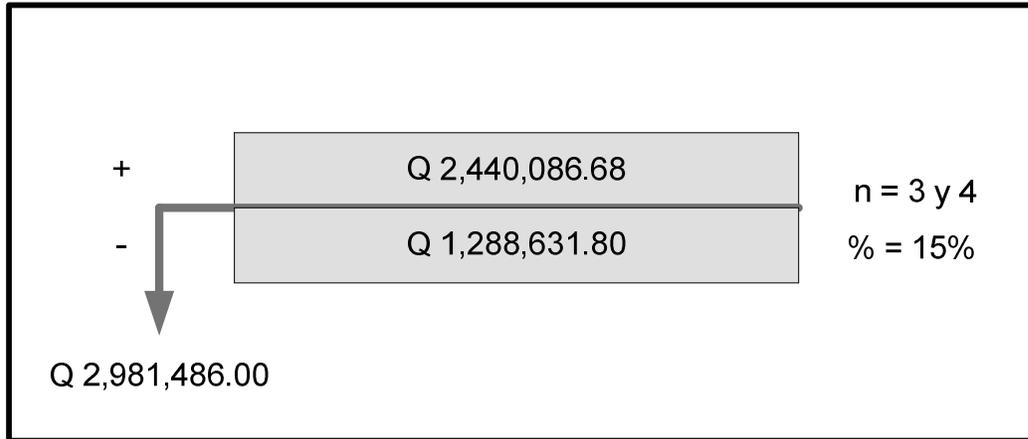


Tabla XII. Flujo de efectivo del proyecto

Inversión Inicial	Q2,981,486.00	Q2,981,486.00
Costo Anual	Q1,288,631.80	Q1,288,631.80
Ingresos/año	Q2,440,086.68	Q2,440,086.68
Tiempo recuperación.	3	4

Figura 32 Diagrama de flujo de efectivo del proyecto



A través de la ecuación¹⁹ siguiente se calcula el valor presente neto.

$$VPN = -Inversion + Ingresos \left(\frac{(1 + \%)^n - 1}{\% \times (1 + \%)^n} \right) - Egresos \left(\frac{(1 + \%)^n - 1}{\% \times (1 + \%)^n} \right)$$

$$VPN = -Inversion + (Ingresos - Egresos) \left(\frac{(1 + \%)^n - 1}{\% \times (1 + \%)^n} \right)$$

Para el presente proyecto se analizara de 3 y 4 años.

Donde:

n= 3 y 4

% = 15%(tasa de interés del proveedor)

¹⁹ Ing. William Abel A. Aguilar Vásquez Apunte de Ingeniería Económica Pág. 50

El valor presente neto para el año 3 es:

$$VPN_{n=3} = -Q.2,981,486.00 + (Q.2,440,086.68 - Q.1,288,631.80) \left(\frac{(1+0.15)^3 - 1}{0.15 \times (1+0.15)^3} \right)$$

$$VPN_{n=3} = -Q.352,455.30$$

Dado el resultado anterior, el valor negativo indica que para 3 años el proyecto no es viable. Analizando ahora para 4 años se tiene que:

$$VPN_{n=4} = -Q.2,981,486.00 + (Q.2,440,086.68 - Q.1,288,631.80) \left(\frac{(1+0.15)^4 - 1}{0.15 \times (1+0.15)^4} \right)$$

$$VPN_{n=4} = Q.305,892.80$$

Este resultado muestra que el proyecto si es favorable para un período de 4 años.

6.2.2. La tasa interna de retorno

Conceptualmente se define que la Tasa Interna de Retorno es la tasa máxima de utilidad que puede pagarse u obtenerse en la evaluación de una alternativa.

La tasa interna de retorno se calculara con la siguiente ecuación²⁰:

$$VPN = -Inversion + (Ingresos - Egresos) \left(\frac{(1 + TIR)^n - 1}{TIR \times (1 + TIR)^n} \right) = 0$$

Donde:

TIR = Tasa Interna de Retorno

n = 4

$$0 = -Q.2,981,486.00 + (Q.2,440,086.68 - Q.1,288,631.80) \left(\frac{(1 + TIR)^4 - 1}{TIR(1 + TIR)^4} \right)$$

Resolviendo la ecuación, se tiene:

$$TIR \approx 20\%$$

Esta tasa es superior a la del proveedor. Indica que el interés con el cual retorna la inversión es de Q 2, 981,486.00

Como se observa la tasa de retorno es mayor a la del proveedor, se puede concluir que el proyecto es rentable para un plazo de 4 años.

²⁰ Ing. William Abel A. Aguilar Vásquez Apunte de Ingeniería Económica Pág. 67

7. DISEÑO DE UN SISTEMA PARA LA REDUCCIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL PROVOCADO POR LA EMISIÓN DE PARTÍCULAS DE BAGACILLO EN LAS CHIMENEAS DE LAS CALDERAS

7.1. Descripción de colector de partículas

Una caldera es un equipo muy delicado, trabaja con vapor de agua a altas presiones, combustibles, altas temperaturas, etc. El tamaño de presiones y cantidad de vapor generado varían mucho desde calderas muy pequeñas a otras sumamente grandes, pero en todos los casos hay que tomar medidas de seguridad para evitar accidentes, y si estos llegaran a ocurrir, que generen el menor daño posible.

La cantidad de aire se convirtió en un tema de gran importancia a principios de la década de 90 y el sistema de colección de polvo ha tenido un papel preponderante sobre este aspecto. Según tratados, la masa de polvo con relación a los gases de descarga es menos de 1 Kg. por 1,000 Kg. de descarga. Se tiende al montaje de colectores de polvo, aun en instalaciones aisladas, ya que ello da lugar a una gran reducción en el costo de mantenimiento de los rotores de los ventiladores.

Actualmente, en varias empresas, se han instalado colectores de polvo para reducir la descarga a la atmósfera de hollín, que se produce al quemar aceites pesados o combustibles. Bajo este aspecto el quemar combustibles sólidos no es conveniente, pero, en la mayoría de casos el costo de combustible líquido es elevado, lo cual obliga al empleo de combustibles sólidos como carbón, bagazo de caña, cascarilla de café, madera, etc. El no tener un buen control en la combustión del combustible empleado puede generar partículas contaminantes, el cual causa un daño a nuestro medio ambiente degradando la

capa de ozono, y por la impureza del aire se pueden generar enfermedades pulmonares. Por ello se llevara a cabo una propuesta para la implementación de colectores de hollín en las calderas.

7.1.1. Colectores húmedos

En los colectores húmedos lo que se hace es atrapar las partículas contaminantes en las gotas de agua que circulan por el colector y luego eliminar del agua los contaminantes atrapados. También, en los colectores húmedos puede haber algunas reacciones químicas o térmicas que pueden ayudar al control de emisiones de gases, por ejemplo si se tienen una emisión de óxidos de azufre (SO_x) u óxidos de nitrógeno (NO_x) al mezclarse con el agua se podrá tener ácido sulfúrico o nítrico, los que se pueden controlar en el equipo. Otro ejemplo, es cuando se tienen emisiones de tetracloruro de etilo líquido que se utiliza para desengrasar. Su evaporación se da a temperatura ambiente y su condensación se logra a $15\text{ }^\circ\text{C}$, así que al pasar los gases evaporados por un recipiente en el que el agua baje su temperatura a $15\text{ }^\circ\text{C}$ se logrará la condensación y por lo tanto su captura en el fluido de control.

7.1.2. Tipos de colectores húmedos

Existen varios tipos de colectores húmedos dentro de los cuales se tienen:

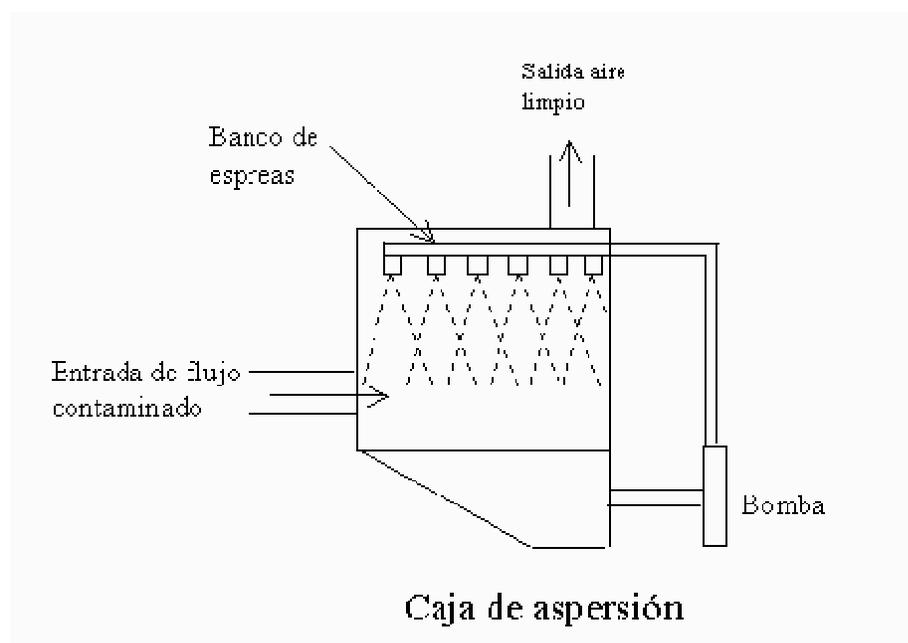
7.1.2.1. Colectores de baja energía.

Son aquellos en los que el flujo de aire contaminado pasa por una niebla o cortina de agua. Son para atrapar partículas de más de 50 micras o para hacer reacciones químicas o térmicas con los contaminantes. Los más conocidos son

las cajas de aspersión en los que el flujo contaminado pasa entre el agua que es aspersada por boquillas, ver figura 33.

En los colectores húmedos lo que se hace es atrapar a las partículas de bagacillo en las gotas de agua que circulan por el colector y luego eliminar del agua los contaminantes atrapados. También en los colectores húmedos puede haber algunas reacciones químicas o térmicas que pueden ayudar al control de emisiones de gases, por ejemplo si se tienen una emisión de óxidos de azufre (SO_x) u óxidos de nitrógeno (NO_x) al mezclarse con el agua se podrá tener ácido sulfúrico o nítrico, los que se pueden controlar en el equipo. Otro ejemplo es cuando se tienen emisiones de tetracloruro de etilo líquido que se utiliza para desengrasar. Su evaporación se da a temperatura ambiente y su condensación se logra a 15°C , así que al pasar los gases evaporados por un recipiente en el que el agua baje su temperatura a 15°C se logrará la condensación y por lo tanto su captura en el fluido de control.

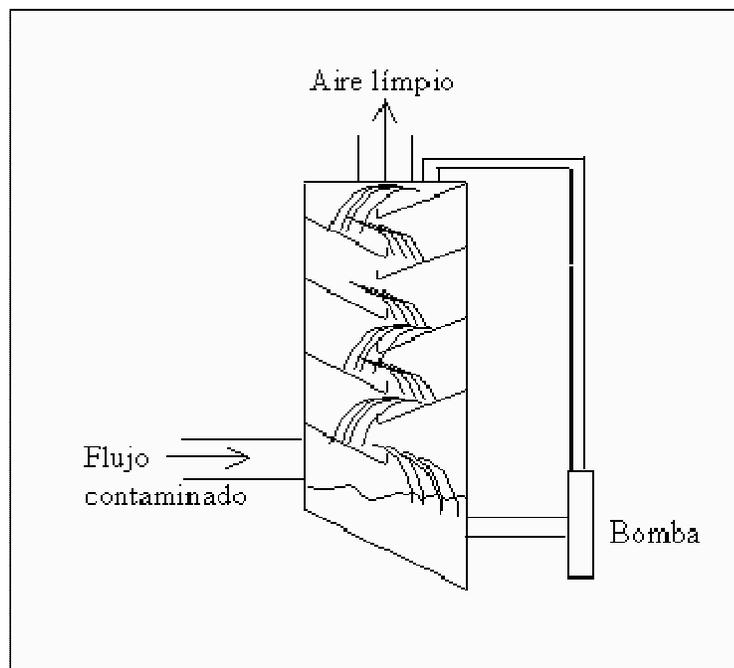
Figura 33 Colectores de baja energía (caja de aspersión)



7.1.2.2. Lavadores de energía media o scrubbers.

En ellos flujo de contaminantes pasa por una serie de mamparas con cortinas de agua o junto a las paredes húmedas de los lavadores, las partículas del contaminante se unen al agua y luego ésta es tratada para separarla de los contaminantes, ver figura 34.

Figura 34 Colectores de energía media

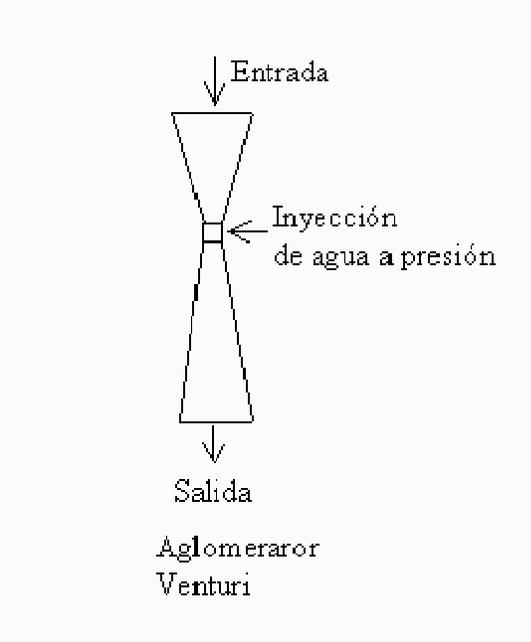


7.1.2.3. Aglomeradores de alta energía.

Son aquellos equipos que utilizan la energía para mezclar con gran eficiencia a las emisiones y el agua, los equipos más conocidos son los venturi de alta energía. Estos equipos logran capturar con 99% de eficiencia a partículas de 0.5 de micra. Para lograr estas eficiencias se llegan a tener caídas de presión

hasta de 40 pulgadas de agua, lo que implica el uso de mucha potencia, ver figura 35.

Figura 35 Colectores de energía alta tipo Aglomerador Venturi



7.2. Ley de protección y mejoramiento al medio ambiente

De la ley de protección y mejoramiento al medio ambiente se extraen los artículos que sirven de fundamento para la realización de este proyecto, cuales son;

Título III

De los sistemas y elementos ambientales

Capítulo I

Del sistema atmosférico

Artículo 14:

Para prevenir la contaminación atmosférica y mantener la calidad del aire, el Gobierno, por medio de la presente ley, emitirá los reglamentos correspondientes y dictará las disposiciones que sean necesarias para:

Promover el empleo de métodos adecuados para reducir las emisiones contaminantes;

Promover en el ámbito nacional e internacional las acciones necesarias para proteger la calidad de la atmósfera;

Regular las sustancias contaminantes que provoquen alteraciones inconvenientes de la atmósfera;

Regular la existencia de lugares que provoquen emanaciones;

Regular la contaminación producida por el consumo de los diferentes energéticos;

Establecer estaciones o redes de muestreo para detectar y localizar las fuentes de contaminación atmosférica;

Investigar y controlar cualquier otra causa o fuente de contaminación atmosférica;

Capítulo II

Del sistema hídrico

Artículo 15:

El Gobierno velará por el mantenimiento de la cantidad del agua para el uso humano y otras actividades cuyo empleo sea indispensable, por lo que emitirá las disposiciones que sean necesarias y los reglamentos correspondientes para:

Evaluar la calidad de las aguas y sus posibilidades de aprovechamiento mediante análisis periódicos sobre sus características físicas, químicas y biológicas;

Ejercer control para que el aprovechamiento y uso de las aguas no cause deterioro ambiental;

Revisar permanentemente los sistemas de disposición de aguas servidas o contaminadas para que cumplan con las normas de higiene y saneamiento ambiental y fijar los requisitos;

Determinar técnicamente los casos en que debe producirse o permitirse el vertimiento de residuos, basuras, desechos o desperdicios en una fuente receptora, de acuerdo a las normas de calidad del agua;

Promover y fomentar la investigación y el análisis permanente de las aguas interiores, litorales y oceánicas, que constituyen la zona económica marítima de dominio exclusivo;

Promover el uso integral y el manejo racional de cuencas hídricas, manantiales y fuentes de abastecimiento de aguas;

Investigar y controlar cualquier causa o fuente de contaminación hídrica para asegurar la conservación de los ciclos biológicos y el normal desarrollo de las especies;

Propiciar en el ámbito nacional e internacional las acciones necesarias para mantener la capacidad reguladora del clima en función de cantidad y calidad del agua;

Velar por la conservación de la flora, principalmente los bosques, para el mantenimiento y el equilibrio del sistema hídrico, promoviendo la inmediata reforestación de las cuencas lacustre de ríos y manantiales;

Prevenir, controlar y determinar los niveles de contaminación de los ríos, lagos y mares de Guatemala;

Investigar, prevenir y controlar cualesquiera otras causas o fuentes de contaminación hídrica.

7.3. Reglamento de requisitos mínimos y límites máximos permisibles de contaminación para la descarga de aguas servidas

Debido a la utilización de agua para la implementación de este proyecto, se tiene que tomar en cuenta el reglamento de requisitos mínimos y límites máximos permisibles de contaminación para la descarga de aguas servidas en la industria azucarera.

El capítulo IV establece:

DE LAS AGUAS SERVIDAS PROVINIENTES DE LA INDUSTRIA DE LA CAÑA DE AZUCAR

Artículo 11: Para la descarga directa de las aguas servidas provenientes de la industria de la caña de azúcar (ingenios azucareros), en cuerpos de aguas receptoras superficiales, subterráneos y costeros, se deberá previamente cumplir con los requisitos mínimos y sus respectivos límites máximos permisibles de contaminación, establecidos en la tabla XIII, que a continuación aparece;

Tabla XIII. Límites máximos permisible de contaminación para la descarga de aguas servidas de la industria de la caña de azúcar

INDUSTRIA	MUESTRA	Sólidos sedimentables ml/l	Demanda Química de oxígeno (DQO) mg/l	Demanda Bioquímica de Oxígeno, después de 5 días DBO5 mg/l
PROCESADORAS DE CAÑA DE AZÚCAR	Muestra tomada al azar; máximo	0.5		
	Muestra promedio de 2 hrs. máximo		45 000	40 000
	Muestra promedio de 24 hrs. máximo		40 000	30 000

El agua que se utilizara para la implementación de este proyecto será extraída del río Guacalate, y después se le dará uso al igual de toda el agua que se utiliza en otros procesos, en el riego de la plantación de la caña de azúcar.

Las cenizas se extraerán haciendo pasar el agua proveniente del colector de bagacillo por medio de tamices o coladores, y luego la ceniza de bagacillo será llevado hacia la plantación de la caña de azúcar, para ser utilizado como abono por su alto contenido de Potasio, Nitrógeno y Fósforo. Ver figura 36.

Figura 36 Separación de las cenizas atrapadas por el colector de partículas



7.4. Contaminación del medio ambiente por la utilización del Bagazo como combustible en las calderas

El producto principal de la fracción insoluble de la caña después de extraído el jugo, es el bagazo. El bagazo industrial representa cerca del 25% de la caña cultivada y contiene aproximadamente un 70% de fibras largas y alrededor de 30% bagacillo (fibras cortas). El bagazo industrial está prácticamente libre de azúcares solubles.

La producción azucarera, opera básicamente con el principio auto energético, es decir, sin consumo de energía fósil, por lo que el destino principal del bagazo es como combustible.

La quema de los cañaverales y la eliminación de los gases de combustión de las calderas son dos de los más grandes problemas de contaminación que produce la industria del azúcar en Guatemala. La mecanización de la cosecha redujo la incidencia de la quema; y la implementación de filtros en las chimeneas son indispensables para reducir los efectos de la contaminación.

La llamada "lluvia negra" se produce por la caída de las cenizas, el hollín, el bagacillo o la carbonilla que se volatiliza a través de las chimeneas de las calderas.

Es por ello va ha realizar la implementación de un colector de partículas de bagacillo u hollín, de baja presión tipo caja de aspersion. Ver figura 33.

7.5. Características del sistema de descarga

Para que el colector de partículas de bagacillo funcione en condición normal y sin afectar el diseño de la caldera, debe contar con las siguientes características.

7.5.1. Temperatura

La temperatura de salida de los gases del hogar de la caldera se encuentran en un promedio de 60 °C, y la temperatura de descarga en la parte superior de la chimenea se puede calcular a través de la ecuación siguiente.

$$t_s = t_c - a(t_c - t_a)^{21}$$

Donde;

t_s = temperatura de los gases en la punta de la chimenea.

t_c = temperatura de los gases en salida del hogar.

t_a = temperatura ambiente.

a = coeficiente que tiene un valor de:

$a=0.15$ para chimeneas de lámina:

$$t_s = 60^\circ C - 0.15(60^\circ C - 27^\circ C)$$

$$t_s = 55.05^\circ C$$

²¹ Hugot (1963). Manual para ingenieros azucareros. Pág. 671

7.5.2. Velocidad

La velocidad de los gases que dejan la chimenea, corresponde a la energía perdida. Desde el punto de vista de la economía en la instalación (altura mínima de la chimenea por construirse, por ejemplo) es conveniente que la velocidad V_s sea lo mas baja posible.

Sin embargo, debe ser suficiente para evitar que la componente vertical de los vientos dominantes pueda perturbar el funcionamiento de la chimenea. En los países tropicales es ventajoso tener por lo menos de 4 m/seg. y aun 5 m/seg. Ya que en el área que se encuentran instalados la mayoría de industrias azucareras es tropical es recomendable que no excedan de 5 m/seg. Porque producirá una chimenea innecesariamente alta y costosa. V_s debe elegirse entonces de tal manera que:

$$4 < V_s \leq 5 \text{ m/seg.}^{22}$$

La velocidad de los gases debe ser de 4.5 m/s, para que este valor se mantenga los que puede variar es la sección transversal de la chimenea la cual se calcula con la siguiente fórmula²³:

$$s = \frac{V_{gt}}{3600 * V_s}$$

Donde:

V_{gt} = Volumen de los gases ($m^3 * Kg$)

V_s = Velocidad de los gases (m/s).

s = Sección transversal de la chimenea (m^2 por toneladas de bagazo por hora)

²² Datos proporcionado por el departamento de calderas, Son datos según diseño de la caldera.

²³ Hugot (1963). Manual para ingenieros azucareros. Pág. 668.

Según datos de diseño de la caldera se tiene que el volumen de gases $V_{gt} = 10 \text{ m}^3 / \text{kg}$. y la velocidad de gases se toma de $V_s = 4.5 \text{ m/seg}$.

$$s = \frac{10 \text{ m}^3 / \text{kg}}{3600 * 4.5 \text{ m/seg}}$$

$$s = \frac{10 \text{ m}^3 / \text{kg}}{3600 * 4.5 \text{ m/seg}}$$

$$s = 0.000617 \text{ m}^2 / \text{kg} / \text{h}$$

Se sabe que una tonelada equivale a 907.185 Kg., sustituyendo se tiene:

$$s = 0.000617 \text{ m}^2 / \text{kg} / \text{h} \left(\frac{1 \text{ ton}}{907.185 \text{ kg}} \right)$$

$$s = 0.6 \text{ m}^2 / \text{ton} / \text{h}$$

7.5.3. Presión

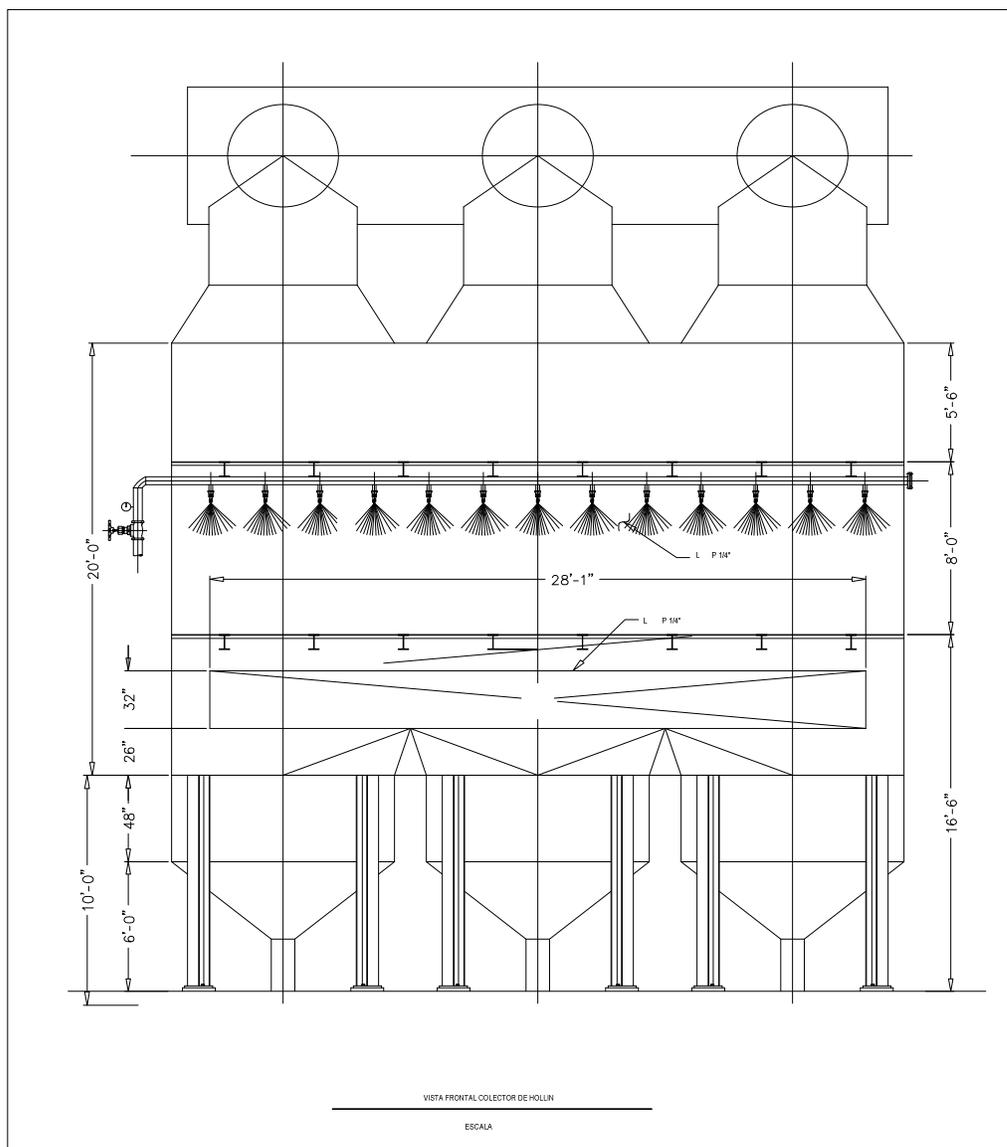
El tiro o la succión es la diferencia entre la presión exterior y la presión en el interior del ducto. Se mide en mm. de agua, la presión depende del diseño de la caldera, y en este caso fue necesario consultar los planos del diseño, el cual es el siguiente.

$$0.5 < V_s \leq 0.7 \text{ mmH}_2\text{O}.^{24}$$

²⁴ Datos proporcionado por el departamento de calderas, Son datos según diseño de la caldera.

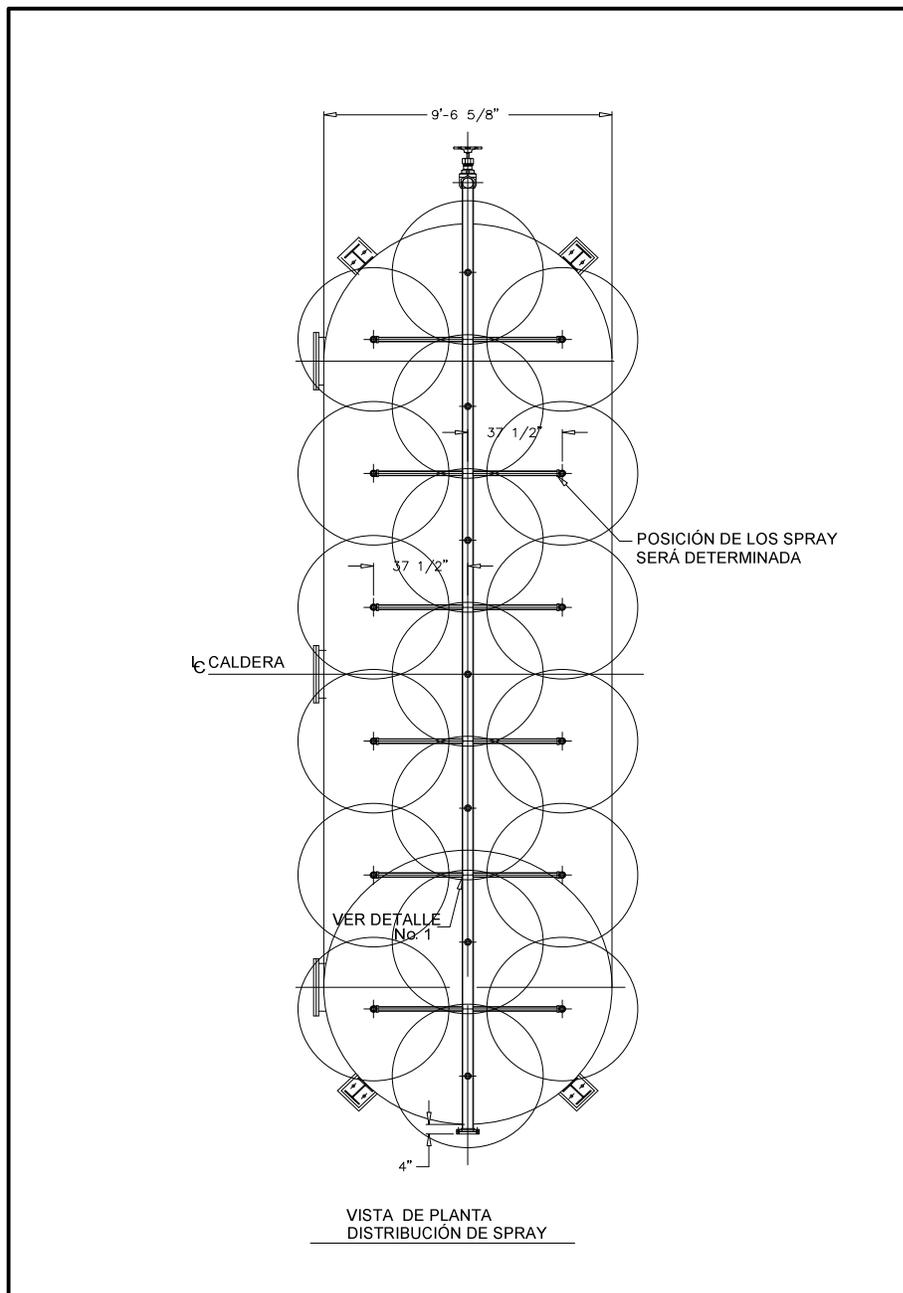
En la figura 38 se muestra la vista frontal de lo que es el colector de partículas, en la cual se puede observar los aspersores, los cuales tienen la función de humedecer las partículas de bagacillo o ceniza y así hacerlas descender hacia la pileta de recolección, para después ser llevada al colador separador de cenizas.

Figura 38 Vista frontal de separador de partículas



En la figura 39 se muestra la distribución de los aspersores para tener una mejor humidificación de las partículas de bagacillo o cenizas. Y asimismo evitar que las partículas sean descargadas al medio ambiente.

Figura 39 Distribución de los aspersores del separador de partículas



7.6.1. Materiales y accesorios a utilizar

En la tabla XIV se muestran los materiales a utilizar para la construcción e implementación del separador de partículas de bagacillo.

Tabla XIV. Materiales a utilizar en la construcción de separador de partículas

Codigo	Descripción Material	U/M	Cantidad
999	LAMINA HIERRO NEGRO 3/16" GENERICO	PI2	4800
1000	LAMINA HIERRO NEGRO 1/4" GENERICO	PI2	2400
1963	TUBO HIERRO NEGRO CED. 40 0.280" WALL 6" GENERICO	PIE	100
39702	BOMBA 316SS C/MOTOR 30HP 3196 4 X 6-10 GOULDS	C/U	1
62153	BOQUILLA DE ATOMIZACION TIPO ESPIRAL MOD. TFXP FULL CONE 90 G. NO	C/U	20
25560	VIGA W 6" X 16 LBS. GENERICO	PIE	300
1812	HEMBRA HIERRO NEGRO 1/4" X 2-1/2" GENERICO	PIE	2,000.00
1961	TUBO HIERRO NEGRO CED. 40 0.237" WALL 4" GENERICO	PIE	200
5049	OXIGENO (CILINDRO) GENERICO	C/U	80
5053	ACETILENO (CILINDRO) GENERICO	C/U	20
17567	VALVULA COMPUERTA 150 WSP C/FLANGE 6"	C/U	1
5186	ELECTRODO E7018 1/8" GENERICO	LBS	1000
1651	ANGULAR HIERRO NEGRO 1/4" X 3" X 3" GENERICO	PIE	300
5180	ELECTRODO E6011 1/8" GENERICO	LBS	500
1957	TUBO HIERRO NEGRO CED. 40 0.154" WALL 2" GENERICO	PIE	100
17568	VALVULA COMPUERTA 150 WSP C/FLANGE 4"	C/U	1
30019	VIGA CANAL C 4" X 7.25 LBS. GENERICO	PIE	200
17621	VALVULA RETENCION (CHEQUE) C/FLANGE 150 WSP 4"	C/U	1
5181	ELECTRODO E6011 5/32" GENERICO	LBS	500
1646	ANGULAR HIERRO NEGRO 1/4" X 2" X 2" GENERICO	PIE	200
1956	TUBO HIERRO NEGRO CED. 40 0.145" WALL 1-1/2" GENERICO	PIE	100
1818	HEMBRA HIERRO NEGRO 1/4" X 4" GENERICO	PIE	200.00
10562	CODO HIERRO NEGRO 45 G. SOLD. CED. 40 4" GENERICO	C/U	4
1627	ANGULAR HIERRO NEGRO 3/16" X 3" X 3" GENERICO	PIE	100
10650	FLANGE (SLIP ON) HIERRO NEGRO 150 LBS. 4" GENERICO	C/U	4
10501	CODO HIERRO NEGRO 90 G. SOLD. CED. 40 4" GENERICO	C/U	6
10542	CODO HIERRO NEGRO 90 G. SOLD. CED. 40 6" GENERICO	C/U	2
25057	TEE HIERRO NEGRO SOLD. CED. 40 4" GENERICO	C/U	2

Entre los accesorios a utilizar en la construcción del colector de partículas son:

- Maquinas soldar eléctrica
- Maquinas oxiacetilénica
- Guantes de cuero
- Vidrios oscuros
- Pulidora
- Careta
- Gabacha de cuero
- Martillo
- Picador
- Escuadra
- Escuadrilongo
- Extensión de luz
- Hilo de pescar
- Tiza
- Nivel
- Plomada
- Compás de puntas
- Cinta métrica
- Chispero
- Lazo plástico
- Polipasto
- Cable de acero
- Cuñeros
- Orejas cargadoras
- Llave ajustable
- Andamio grúa 15 toneladas
- Cincel

CONCLUSIONES

1. Con la instalación del motor eléctrico en sustitución de la turbina de vapor, se observa un ahorro de energía 962.24 KW, lo cual se ve reflejado en mayores utilidades para el ingenio según los resultados obtenidos se determina que la utilidad anual asciende a Q.1,151,454.88 , lo cual resulta beneficioso para el Ingenio.
2. La robustez y menor costo del motor de inducción lo ha transformado en el motor estándar para aplicaciones industriales. El motor de inducción posee una eficiencia promedio de 95%, lo cual lo hace más rentable, comparado con una turbina de vapor que posee una eficiencia promedio de 70%.
3. Con la utilización del motor eléctrico de inducción se tiene una operación confiable y por ende, menores costos de operación y mantenimiento, tales como reducción en el inventario de repuestos, menor control de operación de la maquinaria.
4. Se tiene que el costo de instalación del motor eléctrico asciende a Q.2,981,486.00, con cual se obtienen resultados positivos. Al aumentar la generación eléctrica de un 46% inicial a un 53% de la capacidad del turbogenerador de 15 MW, se genera un excedente de producción de energía eléctrica que se venderá a la Empresa Eléctrica de Guatemala. Con el análisis de costo beneficio del proyecto se obtuvo un resultado de 1.89 lo que significa que la inversión es rentable, con un tiempo de recuperación de 4 años, a una tasa de interés del proveedor de 15% anual.

RECOMENDACIONES

1. Es aconsejable la sustitución de las cuatro turbinas siguientes, en el área de molinos del Ingenio Santa Ana, por motores eléctricos, ya que se demostró que se tiene un ahorro de vapor, el cual es dirigido hacia el turbogenerador de 15 MW. con el cual genera la energía para alimentación de los motores y el excedente se vende a la Empresa Eléctrica de Guatemala.
2. El mantenimiento preventivo para el motor eléctrico, en época de zafra se debe realizar con una frecuencia de 8 días, por la contaminación de partículas polvillo que se encuentra en el medio que se va instalar.
3. Es recomendable la instalación de un variador de velocidad en este motor para tener un mejor control en la operación del molino a corto plazo
4. Cuando se requiera un motor eléctrico para accionarlo con variador de frecuencia, es indispensable, además de las características importantes como voltaje, potencia y velocidad, que se especifique el tipo de aislamiento, ya que este permite a los bobinados del motor, soportar los picos de voltaje de las ondas de salida de los variadores de frecuencia.

BIBLIOGRAFÍA

1. ABB A guide to Standard medium voltage variable speed drives
<http://www.abb.com>.
2. Aguilar Vásquez, W. Apuntes de ingeniería económica.
Facultad de ingeniería.
3. Hugot, E. Manual para ingenieros azucareros. México 1ª Edición 1984.
4. IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants. Std. 141 – 1976
5. Koeningsberger, Rodolfo. Instalaciones Eléctricas 1. Universidad San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 1,982.
6. Manual de inducción a la cooperación, Grupo Corporativo Santa Ana.
División de Recursos Humanos, Departamento de Capacitación y Desarrollo
7. Park, Chan. Ingeniería económica contemporánea. USA, 1ª Edición, 1997
8. Reliance Electric. Duty master alternating current motors (July, 2005)
9. Reliance Electric; Instalación, operación y mantenimiento de los motores de inducción industriales estándar de CA Reliance Electric.
10. Wark, Kenneth. Richards, Donald. Termodinámica. Sexta edición.
Editorial McGraw Hill, 2001.
11. WEG. Manual de instalación y mantenimiento de motores eléctricos.
12. <http://www.itlp.edu.mx/publica/tutoriales/instalacelectricas/>
13. www.monografias.com
Información por la producción de vapor.

APÉNDICE

Figura 40 Proceso de fabricación de azúcar de caña ingenio Santa Ana

La caña de azúcar es una planta que pertenece a la familia de las gramíneas, es una planta perenne, que tiene la ventaja de ser la mas eficiente en transformar la energía solar en azúcares y biomasa. También, genera igual cantidad de oxígeno que cualquier bosque tropical. La caña cuando se planta, produce de 4 a 7 cortes anuales (retoños), sin necesidad de plantarla cada año.

Toda la caña se corta manualmente, hay siete frentes de corte que suministran entre 7.500 y 8.000 toneladas de caña diarias. Aproximadamente existen 2.000 hombres dedicados al corte de caña, además de los que se dedican a las otras labores de la cosecha, como maquinaria, apuntadores, recogedores de caña, etc.

La caña llega al patio de dos formas: caña maletada que en su mayoría es verde, sin quemar; y caña a granel, que viene en contenedores, llamados jaulas, para que puedan ser fácilmente descargados.

En el patio, la caña pasa es pesada en las básculas y luego se descarga en las mesas de caña, donde es lavada. Después, la caña pasa por los conductores donde es transportada y preparada para que en el sistema de molienda la extracción del jugo sea fácil.

El sistema de molienda consiste de un tandem de molinos compuestos de cuatro rodillos conocidos con el nombre de mazas. Se agrega agua de imbibición para facilitar la extracción de sacarosa. La finalidad principal de los

molinos es conseguir la mayor separación posible de los dos elementos de la caña: fibra y jugo. El jugo extraído es bombeado a fábrica y el bagazo es conducido a calderas para utilizarse como combustible.

CALDERAS

Este departamento es el encargado de producir el vapor usando como combustible el bagazo que recibe del molino. El vapor que producen las calderas es usado para el movimiento de los molinos por medio de turbinas de vapor que luego mandan vapor de menor presión a la fábrica para el proceso de evaporación.

CLARIFICACIÓN

Luego del molino el jugo es pasado por calentadores para subir la temperatura del jugo y luego pasa a clarificación para sacarle los lodos (cachaza) en los clarificadores que trabajan por medio de decantación del jugo el lodo es enviado a los filtros de cachaza para extraer parte del jugo. El jugo del clarificador es enviado a los evaporadores.

EVAPORACIÓN

En este departamento se evapora el agua de imbibición que fue agregada en el molino por medio de evaporadores que trabajan a base de vapor de baja presión que recibe del molino.

TACHOS

Este departamento concentra la miel para formar el grano de azúcar.

CENTRÍFUGAS

Este departamento recibe la maza de los tachos en las centrifugas que trabajan por medio de fuerza centrífuga separan el grano de la miel. El azúcar es enviada a una secadora y enfriadora, luego es transportada al envasado o a bodegas a granel para su distribución.

ENVASADO

En este departamento el azúcar es envasada para su comercialización

Figura 41 Deducción de la formula de torque en la salida del reductor

Par de los motores eléctricos

Recuérdese igualmente que:

$$W = C' \Omega$$

Donde:

W = Potencia de un motor, en watts.

C' = Par correspondiente, en joules.

Ω = Velocidad angulas del motor, en radianes por segundo.

Para volver a las unidades habituales:

$$C = \frac{W}{g * \Omega}$$

Donde:

C = Par, en kilogramos-metros.

$g = 9.8 \text{ m/s}^2$.

Pero de la ecuación de relación entre la frecuencia y la velocidad se tiene:

$$f = \frac{pn}{60}$$

Donde:

f = Frecuencia de la corriente, en ciclos/segundo.

p = Número de pares de polos.

n = Velocidad sincrónica, en rpm.

$$\Omega = \frac{\omega}{p} = \frac{2\pi f}{p} = \frac{2\pi n}{60}$$

ω = Frecuencia angular = $2\pi f$ (por definición)

Por lo tanto:

$$C = \frac{60 * W}{2\pi n g}$$

Sustituyendo datos queda:

$$C = 0.974 \frac{W}{n}$$

C = Par, en kilogramos-metros.

W = Potencia de un motor, en watts.

n = Velocidad sincrónica, en rpm.

Dimensionales que tenemos en la fórmula del torque.

$$C = 0.974 \frac{W}{n}$$

$$C = 0.974 \left(\frac{s^3}{m} \right) \frac{J/s}{rpm}$$

$$C = 0.974 \left(\frac{s^3}{m} \right) \frac{\frac{kg - m^2}{s^2}}{rpm}$$

$$C = 0.974 \left(\frac{s^3}{m} \right) \frac{kg - m^2}{rpm \cdot s^3}$$

Sustituyendo datos y expresarlo en HP se tiene:

$$1HP = 745W$$

$$C = 0.974 \left(\frac{s^3}{m} \right) \frac{745 * \frac{kg - m^2}{s^3}}{rpm}$$

$$C = \frac{726 * HP}{rpm} \text{ kg} - m$$

$$C = \frac{726 * HP}{rpm} \text{ kg} - m * \left(\frac{1lb}{0.453592kg} \right) * \left(\frac{1ft}{0.3048m} \right)$$

$$C = \frac{5250 * HP}{rpm} \text{ lb} - ft$$

Figura 42 Procedimiento de mantenimiento según fabricante Reliance Electric

MANTENIMIENTO Y REPARACIÓN

ADVERTENCIA
PARA ASEGURARSE QUE NO SE ARRANQUE SÚBITAMENTE EL EQUIPO IMPULSADO, APAGUE Y BLOQUEE CON LLAVE O ETIQUETA LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN ANTES DE PROCEDER. EL INCUMPLIMIENTO DE ESTAS PRECAUCIONES PUEDE RESULTAR EN LESIONES CORPORALES.

El principio fundamental del mantenimiento eléctrico consiste en MANTENER LIMPIO Y SECO EL APARATO. Esto requiere la inspección periódica del motor y el servicio destinado.

Se recomienda inspeccionar los aspectos siguientes a intervalos regulares:

ADVERTENCIA
NO USE GASOLINA NI OTROS SOLVENTES INFLAMABLES AL LIMPIAR EL MOTOR. EL NO SEGUIR ESTA PRECAUCION PUEDE RESULTAR EN LESIONES CORPORALES.

1. Se recomienda mantener los bobinados exentos de polvo, grasa, aceite y suciedad. Se pueden limpiar los bobinados con limpiadores por succión deben ser no metálicas. Se pueden eliminar los depósitos de suciedad y de grasa con ayuda de un solvente volátil disponible comercialmente.
2. se deben apretar las conexiones de terminales, los tornillos, los pernos y las tuercas de ensamblaje. Estas pueden aflojarse si el motor no está fijamente empernado y tiene a vibrar.

3. se recomienda verificar periódicamente la resistencia del aislamiento de los motores en servicio a aproximadamente las mismas condiciones de temperatura y humedad para determinar el posible deterioro del aislamiento. Cuando dichas mediciones a intervalos regulares indiquen una variación amplia, se recomienda determinar la causa. Se recomienda reacondicionar el motor, rebobinar o reemplazar el aislamiento del motor si fuera necesario si este hubiera estado sujeto a humedad excesiva los motores encerrados requieran muy poca atención. Asegúrese que la cámara externa de aire de los motores enfriados por ventilador no se obstruya con materia extraña que restrinja el paso del aire.

DESENSAMBLAJE

Si fuera necesario desensamblar el motor, se debe tener cuidado de no dañar los bobinados del estator ya que se puede estropear el aislamiento mediante el manejo indebido o rudo.

Se recomienda observar las precauciones para mantener limpios los rodamientos. Antes de retirar cualquiera de las pantallas extremas:

1. Desconectar el motor de la fuente de alimentación. Etiquete los conductores para asegurar la reconexión correcta.
2. Retire el motor de la base de montaje. Retira la cubierta del ventilador si estuviera presente.
3. Marque las escuadras de soporte extremas según su posición en el bastidor para poder volverlas a colocar con facilidad.

DESMONTAJE DE ESCUADRAS DE SOPORTE Y EL ROTOR

4. Retire las tuercas a los pernos del cartucho del rodamiento. (si estuvieran instalados)
5. Retire los pernos opuestos de la escuadra de soporte del extremo de impulsión.
6. Extraiga la escuadra de soporte.
7. Retire la escuadra de soporte de la misma manera.
8. Retire el rotor.

DESMONTAJE Y REEMPLAZO DE LOS RODAMIENTOS ESFERICOS

NO SE DEBEN DESMONTAR LOS RODAMIENTOS A MENOS QUE

VAYAN A SER REEMPLAZADOS. CUANDO SEA NECESARIO EXTRAER LOS RODAMIENTOS. USE UN EXTRACTOR DE RODAMIENTOS. SE PUEDE INSTALAR UN EXTRACTOR DE RODAMIENTOS CON UNA PLACA METÁLICA, CON ORIFICIOS TALADROS EN LA TAPA INTERNA. TENGA CUIDADO DE MANTENER DISTRIBUIDA EQUITATIVAMENTE LA PRESION EN LA TAPA PARA EVITAR ROMPERLA.

PARA INSTALAR UN RODAMIENTO, CALIENTA EN UN HORNO A 121°C (250°F) ESTO EXPANDIRÁ EL ANILLO INTERNO DEL RODAMIENTO Y PERMITIRÁ SU INSTALACIÓN EN EL ASIENTO DEL RODAMIENTO. AL REEMPLAZAR LOS RODAMIENTOS ES NECESARIO HACERLO CON PARTES IDÉNTICAS UTILIZADAS POR RELIANCE. EN MUCHOS CASOS SE UTILIZAN RODAMIENTOS ESPECIALES QUE NO SE PUEDEN IDENTIFICAR POR LAS MARCAS EN EL RODAMIENTO. EN TODO CASO, AL REEMPLAZAR RODAMIENTOS, USE MARCAS EN LOS RODAMIENTOS Y EL NÚMERO DE IDENTIFICACIÓN DEL MOTOR PARA OBTENER EL RODAMIENTO CORRECTO DE REEMPLAZO.

LA MAYORIA DE LOS RODAMIENTOS UTILIZADOS HOY EN DIA TIENE UN AJUSTE INTERNO C3

REENSAMBLAJE

Siga el procedimiento inverso descrito para el desensamblaje. Tras haber marcado las escuadras de soporte en la posición original, vuelva a colocarlas según las marcas.

RODAMIENTOS DE REEMPLAZO

Su programa de mantenimiento no estará completo si no incluye los repuestos de repuesto. No debe olvidarse que el rodamiento es un componente sujeto a desgaste y por lo tanto deberá reemplazarse eventualmente. Para asegurarse de poder mantener la condición de funcionamiento inicial, recomendamos comprar repuestos directamente de Reliance Electric.

Todos los rodamientos utilizados en los motores Reliance están sujetos a las especificaciones exactas y pruebas necesarias para satisfacer los requisitos del rendimiento. De esta manera, es posible reproducir sus rodamientos actuales. Las marcas en los rodamientos no indican la totalidad de las especificaciones.