

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

**PROPUESTA TÉCNICA PARA EL INCREMENTO DE PROCESAMIENTO DE
CAÑA DE AZÚCAR A 300 T/H DEL TRAPICHE DE UN INGENIO AZUCARERO
EN EL NORTE DEL PERÚ**

Tesis para optar al Título de Ingeniero Mecánico, que presenta el bachiller:

JUSTO ANTONIO CHACÓN CHAUCA

ASESOR: Ing. Luis Ricardo Chirinos García

Lima, Junio del 2014

RESUMEN

Este proyecto presenta una alternativa de mejora tecnológica económica y versátil para la generación y transmisión de potencia. Se trata de incrementar la capacidad de procesamiento de caña del trapiche de una planta procesadora de azúcar en el norte del Perú, se empleó como solución principal una transferencia de tecnología, la cual consiste en el cambio de las turbinas mecánicas a motores eléctricos, con variador de frecuencia, del área de extracción de jugo, usadas como accionamientos de molinos; con la base que el área de procesos de azúcar cuenta con la suficiente capacidad. Este proyecto conforma la primera parte de un proyecto mayor que la planta analizada propone desarrollar, la cual se llama "expansión de campos agrícolas", la cual consiste en aumentar la producción y venta de azúcar.

Actualmente, el flujo de procesamiento de caña de azúcar es de 200 T/h; la energía eléctrica generada es de ≈ 6 MW; y se produce ≈ 120 T/h de vapor de alta presión. El propósito del cambio tecnológico es aumentar los márgenes antes ya mencionados, al mismo tiempo poder utilizar la maquinaria actual en sus máximas capacidades. Tras el cambio se llegó tener los siguientes incrementos: Flujo de procesamiento de caña, 300 T/h; energía eléctrica generada, 12 MW; y producción de vapor, 170 T/h.

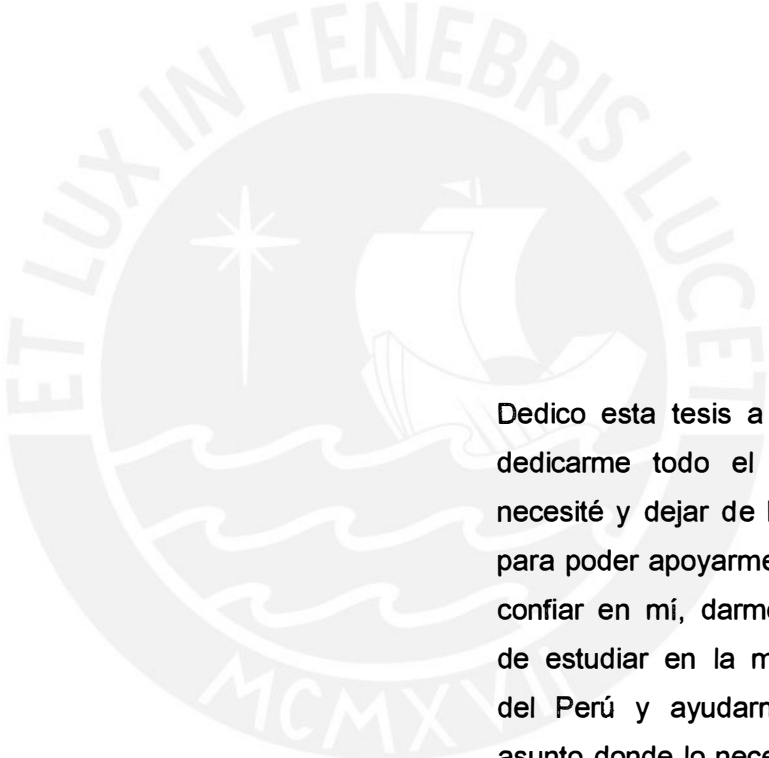
La selección de los motores eléctricos fue de acuerdo a la teoría de elementos de máquinas relacionada con transmisiones mecánicas y de potencia, complementada con la teoría relacionada con turbinas de vapor y termodinámica. Las características nominales de los motores eléctricos seleccionados son los siguientes: cinco motores eléctricos con potencia nominal de 1000 HP y velocidad de 1200 RPM; cada una complementada con variador de frecuencia, acople flexible y reductor de velocidad (planetario), que nos permite obtener una velocidad de salida de 5 RPM.

Para mayor facilidad y rápida resolución de cálculos en el presente proyecto, se utilizó programas y software de cálculos, tales como: Matlab, WASP, Turbine, etc.

Se desarrollaron diversas mejoras extras, las cuales son las siguientes: aumento de flujo de caña hasta 300 T/h; e instalación de turbogenerador de 6 MW. Además, se analizó la distribución de tuberías tras la instalación de los motores eléctricos. Se da como realizado las mejoras adicionales para poder llegar a un máximo aprovechamiento de la maquinaria instalada y de los recursos que cuenta la planta.

Finalmente, el costo de compra de cada motor eléctrico, junto con sus demás componentes, fue de 1 043 333 \$; el costo "puesta en planta" y de instalación de las maquinarias fue 3 343 204 \$; entonces, el coste total involucrado fue 10 201 724 \$.

DEDICATORIA



Dedico esta tesis a mi mamá, por dedicarme todo el tiempo que yo necesité y dejar de hacer sus cosas para poder apoyarme; a mi papá, por confiar en mí, darme la oportunidad de estudiar en la mejor universidad del Perú y ayudarme en cualquier asunto donde lo necesité; y a toda mi familia. Gracias, esto es para ustedes.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi profesor y asesor de tesis, el Dr. Ing. Luis Ricardo Chirinos García por darme toda su ayuda y apoyo para poder realizar esta tesis; por criticarme y cuestionarme cuando realizaba algo mal o cometía algún error; felicitarme cuando lo merecía; y por su infinita paciencia con mi persona; a mi padre, Justo Pastor Chacón Marroquín por brindarme todo sus conocimientos y enseñarme muchas cosas en el proceso, la cuales nunca olvidaré; por tener confianza en mí; por darme seguridad en que podré realizar todo lo que me propongo; y por todo su amor y cariño incondicional. Sin su ayuda, no hubiera sido capaz de comenzar ni terminar este trabajo de tesis, gracias.

Agradezco a todos mis amigos, los cuales siempre estuvieron ahí para escucharme en los momentos que me encontraba estresado o cansado por los estudios y supieron que hacer para relajarme o pasar un buen rato entre nosotros, los estimo mucho.

Y finalmente, a mis compañeros de la universidad, con los cuales estudié para alguna tarea, examen o prueba durante todo el transcurso de la carrera. Siempre apreciare toda la ayuda que me brindaron sin pedir nada a cambio.

INDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	i
TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO	ii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS	v
INDICE DE CONTENIDO	vi
INDICE DE SIMBOLOS	viii
INDICE DE TABLAS.....	x
INDICE DE FIGURAS	xi
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO 1: FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE EQUIPOS	5
1.1 PROCESO DE PRODUCCIÓN DE AZUCAR.....	5
1.2 TÁNDEM DE MOLINOS	8
1.3 PRODUCCIÓN DE VAPOR	10
1.4 PLANTA DE FUERZA	11
1.5 TURBINAS DE VAPOR DE AGUA	12
1.6 CONDICIONES DE OPERACIÓN DE LA FABRICA	13
1.7 PRODUCCIÓN DE VAPOR DE BAJA PRESIÓN.....	15
1.8 ÁREA DE CALDERAS	15
1.9 ACCIONAMIENTO DE MOLINOS.....	17
1.10 CONDICIONES DE ENTREGA	20
CAPÍTULO 2: EVALUACIÓN Y DIAGNÓSTICO DE LA PLANTA.....	23
2.1 DATOS GENERALES.....	23
2.2 MODELO CONCEPTUAL DE DIAGNOSTICO DE PLANTA	23
2.3 PARAMETROS DE ENTRADA DE LA PLANTA ACTUALMENTE	24
2.4 CONSUMO DE VAPOR DE LA PLANTA DE FUERZA	31
2.5 CONSUMO DE VAPOR DE LA MOLIENDA	32
2.6 CONSUMO DE VAPOR DE TURBINAS AUXILIARES	33
2.7 NECESIDAD ENERGÉTICA DE LA FÁBRICA.....	34

2.8	PRODUCCION DE VAPOR DE LAS CALDERAS	34
2.9	POTENCIA REQUERIDA POR LOS MOLINOS	36
2.10	NECESIDAD DE VAPOR DE BAJA PRESION DE LA FÁBRICA	37
2.11	DISTRIBUCION DE TUBERIAS DE VAPOR Y AISLAMIENTO	38
2.12	DISPOSICIÓN DE LA PLANTA	39
2.13	CAPACIDAD DE MAQUINARIA	40
2.14	EFICIENCIA DE OPERACIÓN DE LA PLANTA	41
CAPITULO 3: PROPUESTA DE SOLUCIÓN TÉCNICA DEL PROYECTO		44
3.1	SOLUCIÓN TÉCNICA A LA PROBLEMÁTICA	44
3.2	MODELO CONCEPTUAL DE NUEVO DIAGNOSTICO DE PLANTA	45
3.3	EFICIENCIA Y MAXIMO APROVECHAMIENTO DE RECURSOS	46
3.4	MEJORAS EN EL FUNCIONAMIENTO DETANDEM DE MOLINOS	48
3.5	PARAMETROS DE ENTRADA DE LA PLANTA ACTUALMENTE	49
3.6	NUEVA NECESIDAD ENERGETICA DE LA PLANTA	51
3.7	ANALISIS DE LA NUEVA POTENCIA DE ACCIONAMIENTO DE MOLINO	53
3.8	AHORRO DE CONSUMO DE VAPOR	54
3.9	INCREMENTO DEL VAPOR PARA GENERACIÓN ELÉCTRICA.....	55
3.10	NUEVA NECESIDAD DE VAPOR DE BAJA PRESION DE LA FÁBRICA 57	
3.11	NUEVA DISPOSICION DE LA PLANTA	61
3.12	SELECCIÓN DE NUEVO ACCIONAMIENTO DE MOLINO	64
3.13	NUEVA DISPOSICION DE TUBERIAS DE VAPOR Y AISLAMIENTO	65
3.14	NUEVA CAPACIDAD DE MAQUINARIA	66
3.15	NUEVA EFICIENCIA DE OPERACIÓN DE LA PLANTA.....	66
CAPITULO 4: COSTOS INVOLUCRADOS		68
4.1	COSTO DE PROYECTO	68
4.2	FORMA DE PAGO	72
CONCLUSIONES		74
BIBLIOGRAFIA.....		77
ANEXOS		

INDICE DE SIMBOLOS

- c_1 : Fricción de los diversos broncees (%)
- c_2 : Rendimiento de las coronas (%)
- c_3 : Pérdida en el acoplamiento (%)
- c_4 : Rendimiento de cada par de engranes (%)
- C: Porcentaje de consumo energético dirigido hacia los campos de caña (%)
- CT: Consumo total de energía (MW)
- CV: Consumo de vapor (T/h)
- CEVP: Consumo específico de vapor de baja presión (T_{vaporbaja}/T_{caña})
- CSB: Consumo específico de bagazo de la Caldera (kg_{vapor}/kg_{bagazo})
- CSV: Consumo específico de vapor por etapa (T/MW.h)
- CSEE: Consumo específico de energía eléctrica (kW-h/T)
- CVBP: Consumo de vapor de baja presión (T_{vaporbaja}/h)
- d: Densidad del bagazo comprimido en el plano axial de los cilindros de salida (kg/m³)
- D: Diámetro de la maza (m)
- D_p: Diámetro del pistón hidráulico (in)
- e: Rendimiento de engranes (%)
- f: Fibra de bagazo con relación a la unidad (%fibra/%jugoyfibra)
- Fib: Fibra de caña (%)
- FB: Flujo de bagazo (T_{bagazo}/h)
- FCS: Porcentaje de fibra de caña que sale del primer molino (%)
- FRB: Flujo real de bagazo hacia las calderas (T_{bagazo}/h)
- H: Entalpía (kJ/kg)
- h_1 : Entalpía de vapor de entrada (definido según T° y P°) (kJ/kg)
- h_e : Entalpía de agua o vapor de entrada de Caldera (definido según T° y P°) (kJ/kg)
- h_s : Entalpía de agua o vapor de salida de Caldera (definido según T° y P°) (kJ/kg)
- h_{ideal} : Entalpía de vapor de salida ideal (entalpía isoentrópica) (kJ/kg)
- h_{real} : Entalpía de vapor de salida real (calculado) (kJ/kg)
- JE: Porcentaje de jugo de caña que se extrae en el primer molino (%)
- JCE: Porcentaje de jugo de caña que entra al primer molino (%)
- JCS: Porcentaje de jugo de caña que sale del primer molino (%)
- L: Largo de la maza (m)

L_{aisl} : Longitud aislada de tubería de vapor (m)
 L_{total} : Longitud total de tubería de vapor (m)
 n : Velocidad de rotación de los cilindros (RPM)
 NE : Necesidad energética de una planta (MW)
 NVP : Necesidad de vapor de baja presión ($T_{vaporbaja/h}$)
 P : Presión hidráulica total aplicada (T)
 PRB : Porcentaje de reserva de bagazo (%)
 PT : Potencia total necesaria para un molino (kW)
 $P. Mano.$: Presión manométrica (psi)
 $P. Abs.$: Presión absoluta (psi)
 P_{cond} : Porcentaje de flujo por etapa de condensación (%)
 Pol : Porcentaje de sacarosa en el bagazo (%)
 Pot : Potencia Generada por la turbina (kW)
 $Proc$: Procesamiento de caña de azúcar (T/h)
 PCI_b : Poder calorífico Inferior del Bagazo (kJ/kg)
 P° : Presión (kPa)
 q : Carga fibrosa (kg/m²/min)
 r : Carga fibrosa específica de molino (kg/m²/m)
 RB : Reserva de bagazo ($T_{bagazo/h}$)
 $R_{b/c}$: Relación bagazo/caña ($T_{bagazo}/T_{caña}$)
 S : Entropía (kJ/kg.K)
 SS : Porcentaje adicional de potencia considerando sobrecargas y resbalamientos (%)
 T : Potencia total consumida por un molino (HP)
 T° : Temperatura (°C)
 $Turbo. \#n$: Turbogenerador #n

Símbolos griegos:

ρ_{JC} : Densidad de jugo de caña (kg/m³)
 ρ_{FC} : Densidad de fibra de caña (kg/m³)
 η_C : Eficiencia de la Caldera (%)
 η_T : Eficiencia isoentrópica de la Turbina (%)
 ρ_m : Presión hidráulica manométrica cargada en la botella (lb/in²)

L_{aisl} : Longitud aislada de tubería de vapor (m)
 L_{total} : Longitud total de tubería de vapor (m)
 n : Velocidad de rotación de los cilindros (RPM)
 NE : Necesidad energética de una planta (MW)
 NVP : Necesidad de vapor de baja presión ($T_{vaporbaja/h}$)
 P : Presión hidráulica total aplicada (T)
 PRB : Porcentaje de reserva de bagazo (%)
 PT : Potencia total necesaria para un molino (kW)
 $P. Mano.$: Presión manométrica (psi)
 $P. Abs.$: Presión absoluta (psi)
 P_{cond} : Porcentaje de flujo por etapa de condensación (%)
 Pol : Porcentaje de sacarosa en el bagazo (%)
 Pot : Potencia Generada por la turbina (kW)
 $Proc$: Procesamiento de caña de azúcar (T/h)
 PCI_b : Poder calorífico Inferior del Bagazo (kJ/kg)
 P° : Presión (kPa)
 q : Carga fibrosa (kg/m²/min)
 r : Carga fibrosa específica de molino (kg/m²/m)
 RB : Reserva de bagazo ($T_{bagazo/h}$)
 $R_{b/c}$: Relación bagazo/caña ($T_{bagazo}/T_{caña}$)
 S : Entropía (kJ/kg.K)
 SS : Porcentaje adicional de potencia considerando sobrecargas y resbalamientos (%)
 T : Potencia total consumida por un molino (HP)
 T° : Temperatura (°C)
 $Turbo. \#n$: Turbogenerador #n

Símbolos griegos:

ρ_{JC} : Densidad de jugo de caña (kg/m³)
 ρ_{FC} : Densidad de fibra de caña (kg/m³)
 η_C : Eficiencia de la Caldera (%)
 η_T : Eficiencia isoentrópica de la Turbina (%)
 ρ_m : Presión hidráulica manométrica cargada en la botella (lb/in²)

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Estado termodinámico de vapor de los Turbogeneradores (medidos)....	25
Tabla 2.2: Eficiencia de los turbogeneradores	25
Tabla 2.3: Potencia generada por los turbogeneradores.....	25
Tabla 2.4: Estado termodinámico del vapor de las turbinas mecánica (medidos) ...	26
Tabla 2.5: Eficiencia de las turbinas mecánicas.....	26
Tabla 2.6: Potencia nominal otorgada de las turbinas mecánicas.....	26
Tabla 2.7: Datos importantes de la planta.....	27
Tabla 2.8: Calderas, consumo de bagazo.....	27
Tabla 2.9: Estado termodinámico de agua/vapor de las calderas	28
Tabla 2.10: Eficiencia de las Calderas	28
Tabla 2.11: Propiedades del bagazo.....	28
Tabla 2.12: Datos importantes de las mazas	29
Tabla 2.13: Eficiencia de transmisión.....	29
Tabla 2.14: Información de Presión Hidráulica.....	29
Tabla 2.15: Información de Carga Fibrosa específica	29
Tabla 2.16: Información de densidad de bagazo	29
Tabla 2.17: Datos importantes de vapor de baja presión	30
Tabla 2.18: Distribución de tuberías y su porcentaje aislante	30
Tabla 2.19: Consumo específico de vapor de los turbogeneradores.....	31
Tabla 2.20: Consumo de vapor de los turbogeneradores.....	32
Tabla 2.21: Consumo específico de vapor de las turbinas mecánicas	33
Tabla 2.22: Consumo de vapor de las turbinas mecánicas	33
Tabla 2.23: Consumo de vapor de turbinas y turbinas auxiliares	34
Tabla 2.24: Necesidad energética de la fabrica	34
Tabla 2.25: Consumo específico de bagazo de las calderas	35
Tabla 2.26: Calderas, flujo real de bagazo.....	35
Tabla 2.27: Vapor producido por las calderas.....	35
Tabla 2.28: Bagazo y producción de vapor por Caldera.....	36
Tabla 2.29: Potencia total consumida por un molino.....	36
Tabla 2.30: Potencia total necesaria para un molino.....	37
Tabla 2.31: Necesidad de vapor de baja presión	37
Tabla 2.32: Producción de vapor de baja presión	37

Tabla 2.33: Aislamiento de tuberías de vapor	38
Tabla 2.34: Porcentajes de flujos por área de la planta	39
Tabla 2.35: Capacidad de maquinaria de la planta	41
Tabla 2.36: Eficiencia de operación de maquinaria	41
Tabla 2.37: Eficiencia de empresas procesadoras de caña	42
Tabla 3.1: Nuevo datos de la planta.....	50
Tabla 3.2: Información relevante para comparación de ahorro	50
Tabla 3.3: Datos de vapor de baja presión (nuevo).....	50
Tabla 3.4: Calderas, nuevo consumo de bagazo	51
Tabla 3.5: Nueva necesidad energética de la fabrica.....	51
Tabla 3.6: Nueva necesidad energética de la fábrica (2)	52
Tabla 3.7: Nueva necesidad energética de la fábrica (3)	52
Tabla 3.8: Nueva potencia total consumida por un molino	52
Tabla 3.9: Nueva potencia total necesaria para un molino.....	53
Tabla 3.10: Información importante para comparación de ahorro	54
Tabla 3.11: Consumo de vapor promedio	54
Tabla 3.12: Nuevo turbogenerador	55
Tabla 3.13: Nueva distribución de vapor de turbogeneradores	55
Tabla 3.14: Consumo de vapor dirigido hacia los molinos (1)	56
Tabla 3.15: Consumo de vapor dirigido hacia los molinos (2)	56
Tabla 3.16: Nueva necesidad de vapor de baja presión.....	57
Tabla 3.17: Producción de vapor de baja presión	57
Tabla 3.18: Excedente de vapor mandado por la válvula.....	58
Tabla 3.19: Condiciones de trabajo de las calderas	58
Tabla 3.20: Calderas, nuevo flujo real de bagazo	59
Tabla 3.21: Vapor producido por las calderas	59
Tabla 3.22: Bagazo de reserva	60
Tabla 3.23: Bagazo y producción de vapor por Caldera en nuevas condiciones.....	60
Tabla 3.24: Nuevos porcentajes de flujos por área de la planta.....	61
Tabla 3.25: Característica del motor eléctrico	64
Tabla 3.26: Eficiencia de aislamiento de nueva distribución de tuberías de vapor ..	65
Tabla 3.27: Nueva capacidad de maquinaria de la planta	66
Tabla 3.28: Nueva eficiencia de operación de maquinaria	66
Tabla 4.1: Costos de materiales y maquinaria	68
Tabla 4.2: Costos de puesta en planta de materiales y maquinaria	70
Tabla 4.3: Costos extras de supervisiones.....	70
Tabla 4.4: Costos de instalación de maquinaria y accesorios	71

Tabla 4.5: Costo total del proyecto	71
Tabla 4.6: Forma de pago del motor eléctrico.....	72
Tabla 4.7: Forma de pago del turbogenerador	72



INDICE DE FIGURAS

Figura N° 1.1: Representación general de un ingenio azucarero en Perú.....	6
Figura N° 1.2: esquema técnico de las áreas analizadas en la planta.....	7
Figura N° 1.3: Tándem de molinos de la empresa analizada.....	8
Figura N° 1.4: Representación de las turbinas mecánicas del área de extracción....	9
Figura N° 1.5: Esquema básico de un tándem de molinos del ingenio analizado....	10
Figura N° 1.6: Esquema de turbogeneradores a contrapresión y condensación.....	11
Figura N° 1.7: Diagrama de categorización de los términos de comercio.....	21
Figura N° 2.1: Modelo conceptual de diagnóstico de la planta.....	24
Figura N° 2.2: Cuaderno de toma de parámetros importantes de los turbogeneradores.....	31
Figura N° 2.3: Cuaderno de toma de parámetros importantes de las turbinas mecánicas.....	32
Figura N° 2.4: Diagrama de bloques general del proceso de producción de azúcar....	39
Figura N° 2.5: Distribución de vapor sin electrificar los molinos.....	40
Figura N° 3.1: Modelo conceptual de nuevo diagnóstico de la planta.....	45
Figura N° 3.2: Diagrama de bloques del proceso de producción de azúcar.....	61
Figura N° 3.3: Distribución de vapor con electrificación de los molinos.....	62
Figura N° 3.4: Distribución de energía eléctrica de los turbogeneradores.....	63
Figura N° 3.5: Posible distribución de energía eléctrica de cogeneración.....	63
Figura N° 3.6: Motor eléctrico, con variador de frecuencia, seleccionado.....	64
Figura N° 4.1: Costo de los principales componente del motor eléctrico.....	69
Figura N° 4.2: Costo de los principales componentes de los turbogeneradores.....	69

INTRODUCCIÓN

Desde comienzos del siglo XIX, la Industria Azucarera, en el Perú, era una de las más importantes y productivas del país y del mundo. Se introdujeron plantas procesadoras de caña de azúcar como materia prima, con tecnología de punta alemanas, inglesas, americanas, etc. Dichas plantas contaban con diversas áreas de procesamiento; sin embargo, la más importante era la etapa de extracción de jugo, llamados Trapiche, esta determina la capacidad de procesamiento de planta.

Muchas empresas azucareras, en el Norte del Perú, comenzaron su funcionamiento a comienzos de siglo XX con un flujo de procesamiento de caña de aproximadamente entre 80 T/h y 100 T/h. Con el transcurso de los años, tuvieron transferencia de tecnología y diversos aumentos de procesamiento de caña hasta llegar a aproximadamente entre 150 T/h y 200 T/h en 1960. Sin embargo, ese mismo año, las empresas, en todo el Perú, pasaron a ser cooperativas y con este cambio, vino un estancamiento en la transferencia de tecnología y aumento de flujo. Actualmente, la mayoría de estas empresas mantienen la misma maquinaria (en mucho casos, obsoletas); y el mismo flujo de procesamiento de caña.

La presente tesis analiza una de estas empresas azucareras, situadas en el Norte del, Perú con lo problemática mencionada. Para poder resolver la problemática encontrada, la empresa decidió iniciar un proyecto llamado "expansión de campos agrícolas", el cual consiste en aumentar su flujo actual de producción y venta de azúcar, a través del óptimo aprovechamiento de los recursos de la planta y con transferencia de tecnología eficiente y actual.

Este proyecto es de suma importancia para la empresa, ya que tiene como objetivo poner a la planta en un mayor régimen de producción (aumento de procesamiento de materia prima) para poder alcanzar, competir y abastecer las necesidades actuales del mercado nacional e internacional. Además, de fomenta el trabajo para los pobladores.

Por lo antes expuesto, en la presente tesis define una propuesta técnica, con el objetivo de aumentar la capacidad de procesamiento de caña de azúcar, hasta llegar a los 300 T/h de flujo de caña, en el ingenio azucarero mencionado, tras cambios tecnológicos en el área de extracción de jugo, considerando también las áreas de las calderas y planta de fuerza. Esta propuesta forma la primera parte del proyecto "expansión de campos agrícolas" que la empresa analizada propone.

Se tomó como referencia a empresas importantes situadas en Brasil, tales como Usina Santa Elisa o San Antonio, las cuales aumentaron su flujo de procesamiento de caña de azúcar, producción de azúcar y alcohol, aumento de generación de energía eléctrica y aumento de eficiencia de operación de su maquinaria en general con cambios tecnológicos en el área de extracción de jugo, calderas o planta de fuerza.

Se analizará las posibles mejoras técnicas para poder tener un incremento de procesamiento de caña de azúcar, así mismo poder aumentar la eficiencia de operación de las maquinarias de las áreas mencionadas.

La planta analizada cuenta con 3 áreas importantes, en las cuales basaremos nuestro análisis, las cuales son las siguientes:

- Planta de fuerza: Cuenta con 3 turbinas, cada una conectada a un generador y excitatriz; dos de las cuales son de contrapresión y la otra, de condensación. Al conjunto conformado por turbina, generador y excitatriz se le llama comúnmente como un Turbo-Generador o Turbogenerador.
- Área de calderas: Cuenta con 5 calderas acuo-tubulares de bagazo, las cuales son las encargadas de la producción de vapor de agua de alta presión.
- Extracción de jugo: Cuenta con 3 turbinas a contrapresión, las cuales son el accionamiento de los molinos de esta área (donde se extrae el jugo de la caña). Para poder diferenciar estas turbinas con las turbinas de la planta de fuerza, a las primeras se le llamarán turbinas mecánicas.

Como objetivo general se plantea:

Incrementar la capacidad de procesamiento de caña de azúcar con la incorporación de una propuesta tecnológica en el área de trapiche en un ingenio azucarero en el norte del Perú

Y como objetivos específicos, se plantea:

- Determinar la capacidad nominal y de operación de producción de vapor de agua de las calderas situadas en el área de calderas de la planta.
- Calcular la capacidad máxima actual de generación de energía eléctrica en los turbogeneradores; y la necesidad de la planta (consumo energético actual).
- Determinar la eficiencia de operación de la maquinaria de las áreas de calderas, planta de fuerza y extracción de jugo; turbogeneradores, turbinas mecánicas y calderas.

- Calcular el nuevo consumo energético (de energía eléctrica) bajo las condiciones de un aumento de procesamiento de caña, para llegar a 300 T/h.
 - Analizar si la capacidad de generación de energía eléctrica actual de la planta podría cumplir las nuevas necesidades.
 - Proponer soluciones técnicas en caso que exista necesidades que la planta no puede abastecer.
 - Obtener el ahorro de consumo de vapor que se tuviera tras la instalación de cada una de las soluciones técnicas que se propone.
 - Calcular la potencia requerido por los molinos en condiciones actuales y en condiciones del aumento de procesamiento, y la selección de accionamiento de molinos (motores eléctricos con variador de frecuencia).
 - Levantar en planos o esquemas la distribución aproximada de tuberías de vapor de agua (de baja y alta presión) que se encuentra instaladas en las 3 áreas mencionadas a analizar.
 - Evaluar el estado del aislante de las tuberías de vapor analizadas.
 - Verificar si las tuberías pueden resistir el nuevo flujo de procesamiento de caña de azúcar (diámetro, aislante, diámetro crítico de aislamiento, pérdida de calor).
 - Seleccionar las opciones más eficientes para el reemplazo de equipos, maquinarias, accesorios y tuberías.
- Averiguar el precio de compra, nacionalización e instalación de maquinaria, tuberías y accesorios del proyecto; además, analizar la rentabilidad del proyecto.

La tesis desarrollada abarca también el análisis de la distribución de tuberías de las áreas analizadas y sus posibles modificaciones tras la implementación de los cambios que se tiene en la propuesta técnica.

Una de las soluciones técnicas más usadas por empresas brasileñas, ya antes mencionadas que han tenido el misma problemática, de cambio tecnológico en el área de extracción de jugo es la electrificación de accionamiento de molinos (cambia de los accionamiento actuales por motores eléctricos con variador de frecuencia); aumentando significativamente su ahorro de energía eléctrica y aprovechando efectivamente los recursos que tiene, tales como, vapor y bagazo.

La metodología a seguir consiste en identificar las falencias de las áreas analizadas desde el enfoque del aprovechamiento energético. Luego, teniendo como base la teoría de elementos de máquinas y termodinámica se desarrolla todos los cálculos necesarias para la selección del motor eléctrico, variador de frecuencia y reductor de velocidad para el accionamiento de molinos en el área de extracción de jugo.

El desarrollo de la tesis seguirá la siguiente secuencia:

En el capítulo 1, se trata todos los fundamentos generales teóricos de las maquinarias y equipos del proceso involucrados en la preparación y realización del proyecto, las áreas analizadas son las siguientes: Etapa de extracción de jugo, calderas de producción de vapor de agua y planta de fuerza.

En el capítulo 2, se expone una evaluación y diagnóstico actual de la planta analizada, siguiendo diversos cálculos; tales como: Balance de vapor, balance de energía, cálculo de potencia de tándem de molinos, eficiencia de operación, eficiencia energética, capacidad máxima y nominal de la maquinaria y disposición de la planta actual; adicionalmente, se hará el uso de diversos software para facilitar los cálculos (Matlab, WASP, turbine, etc.).

En el capítulo 3, se presenta la propuesta de solución técnica del proyecto para solucionar la problemática expuesta, el cual abarca los siguientes temas: cálculo y selección de maquinaria nueva necesaria para el desarrollo del proyecto, nuevo balance de vapor y energía; nueva disposición de la planta; y distribución e instalación de nuevos accesorios y tuberías.

Finalmente, en el capítulo 4, se evalúan los costos de compra, puesta en planta e instalación de los motores eléctricos seleccionados y demás accesorios y tuberías. Además, la tesis contará con planos de la nueva disposición de las áreas involucradas en el proyecto para poder lograr una mejor comprensión del trabajo.

CAPITULO 1

FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE EQUIPOS

1.1 PROCESO DE PRODUCCIÓN DE AZUCAR

El proceso de producción de azúcar consta de diferentes tipos de procesos y áreas de procesamiento de caña de azúcar. La figura N° 1.1 es una representación general de un Ingenio azucarero en Perú, distinguiendo las diferentes áreas principales de un ingenio; las cuales son las siguientes:

1. Preparación de Caña de azúcar (cuchillas, picadoras y desfibrador)
2. Extracción de Jugo de caña (Tándem de molinos)
3. Calderas (calderas y bagaceras)
4. Planta de fuerza (turbogeneradores de extracción y condensación-extracción)
5. Procesos de elaboración de azúcar (Clarificadores de jugo, calentadores, evaporadores, vacumpans, centrifugas y empacadoras)

El proceso de producción de caña de azúcar se puede considerar como un ciclo repetitivo. Todos los insumos y productos son recirculados y reutilizados, de alguna manera; en los mismos procesos de producción. Así se garantiza un ahorro de energía y dinero para la planta. La recirculación se da mayormente entre los procesos de extracción, calderas y planta de fuerza.

Por otro lado, los subproductos secundarios son tercerizados; tales como, cachaza de caña de azúcar para empresas productoras de Ajino moto; y melaza de caña de azúcar para empresas productoras de alcohol etílico.

En la figura N°1.2, se muestra un esquema técnico básico de las áreas en la planta: área de calderas, planta de fuerza y área de extracción de jugo. Así, se puede tener un mejor entendimiento de la distribución de las áreas analizadas en el presente proyecto.

En este y demás capítulos presentados, se asume todo los tipos de maquinarias como adiabáticas y que presentan una eficiencia de trabajo (debido a que no se puede considerar isoentrópicas). Así que, todo tipo de cálculo se debe considerar como aproximado (debido a que realmente no son adiabáticas).

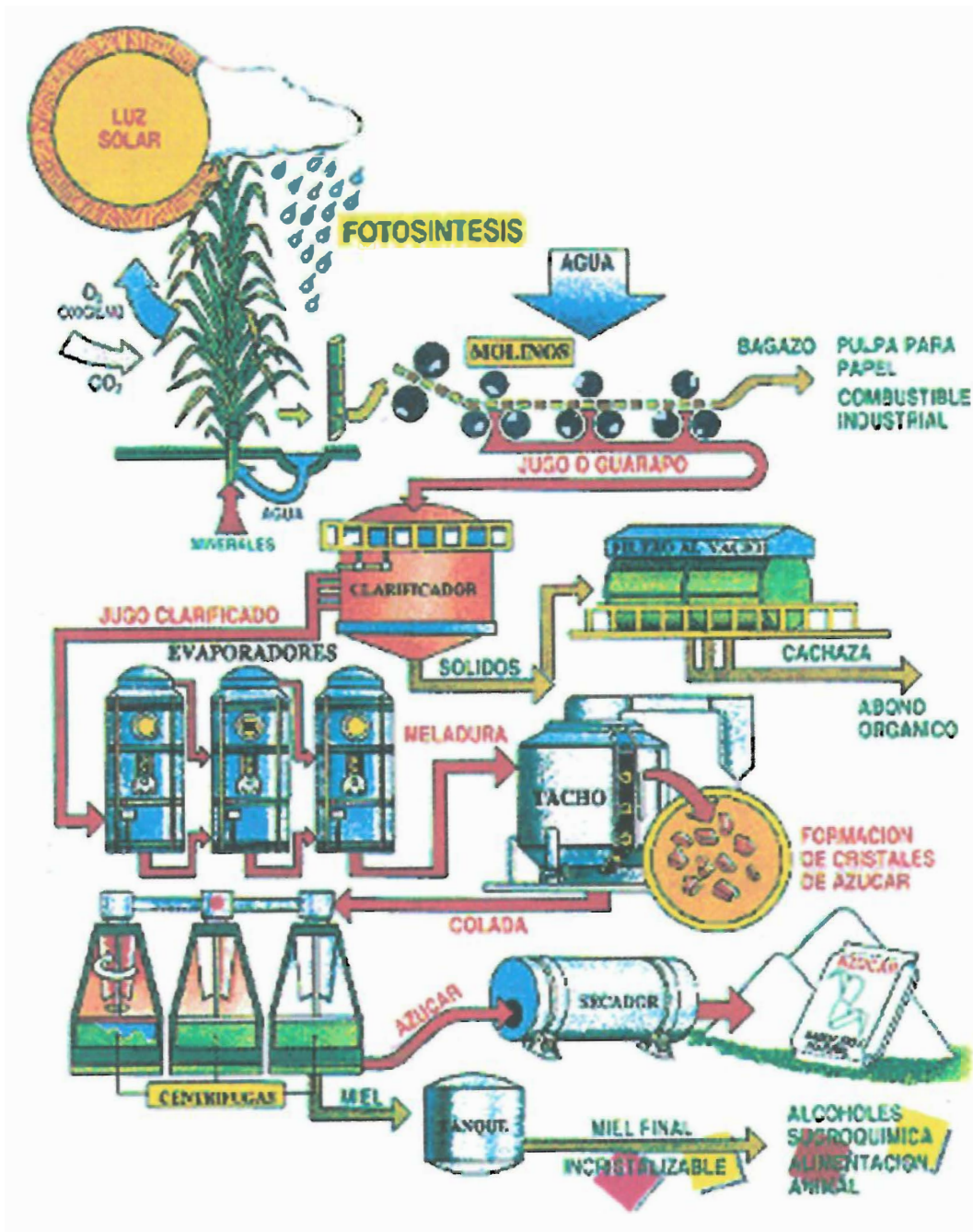


Figura N° 1.1: Representación general de un Ingenio azucarero en Perú

Fuente: Elaboración de Alfredo Novoa, 2009

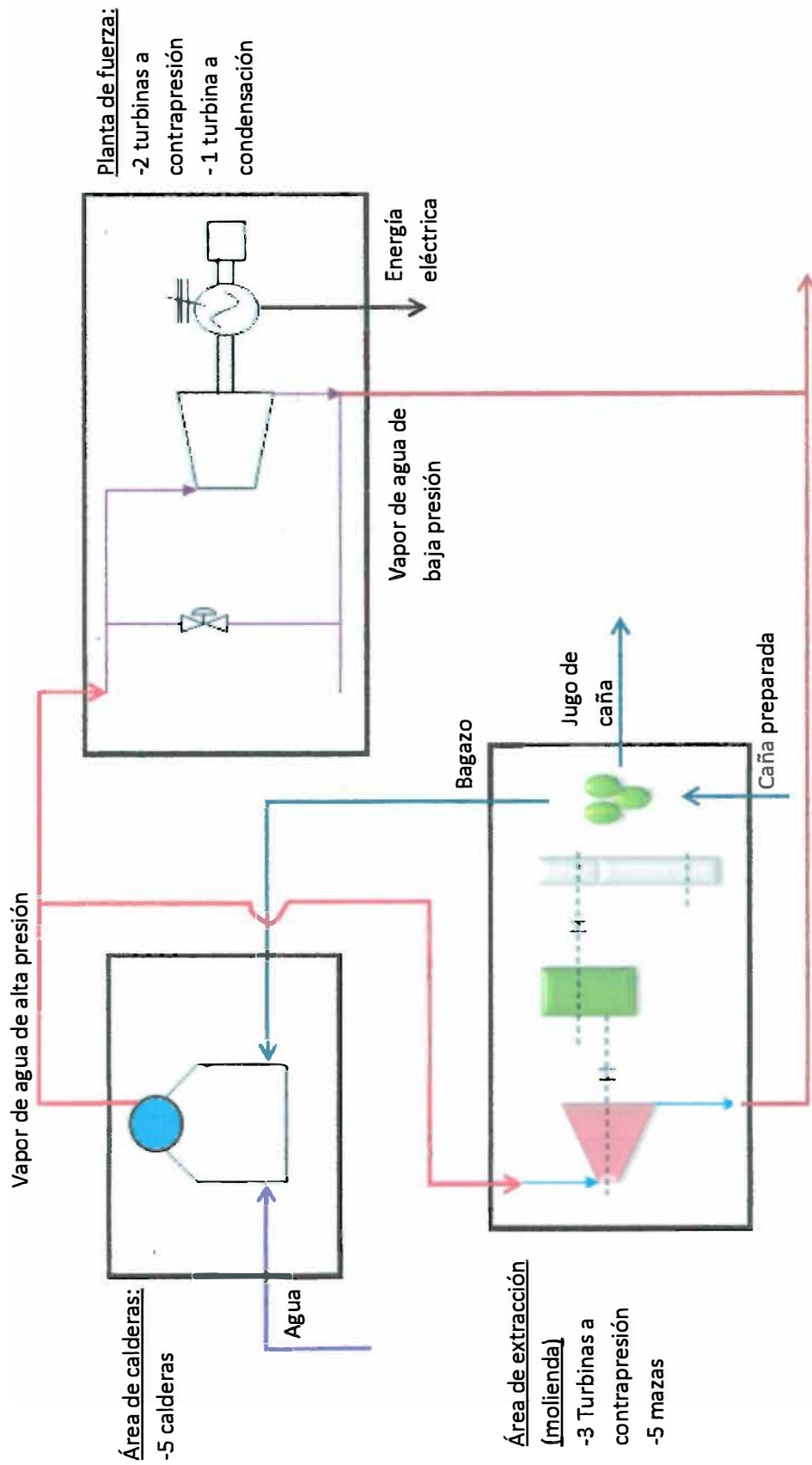


Figura N° 1.2: Esquema técnico de las áreas analizadas en la planta

Fuente: Elaboración propia, 2014

1.2 TÁNDEM DE MOLINOS



Figura N° 1.3: Tándem de molinos de la empresa analizada

Fuente: Empresa analizada, 2009

El sector principal en un ingenio azucarero es la etapa de extracción. Esta sección se encarga de moler la caña de azúcar y extrae 2 productos: Jugo de caña y bagazo. El jugo de caña es utilizado para la producción de azúcar; y el bagazo, como combustible no convencional en las áreas de calderas para la generación térmica de vapor de agua. La molienda (extracción de jugo) es accionada a través de un tándem de molinos con turbinas de vapor a contrapresión. En la figura N° 1.3, se puede mostrar una imagen del tándem de molinos de la empresa analizada.

El tándem del Ingenio analizado cuenta con 5 molinos de caña impulsados por 3 turbinas de vapor a contrapresión de 750 HP (1 molino), 1500 HP (2 molinos) y 1500 HP (2 molinos), respectivamente; a una presión manométrica de admisión de 300 psi; intermedio, 50 psi y escape, 20 psi; y velocidad comprendida entre 3100 y 3400 RPM, para luego de una doble reducción con un reductor de alta y un tren abierto llegar a una velocidad entre 4 a 5 RPM en el eje de los molinos.

En la figura N°1.4, se muestra una representación de las turbinas mecánicas 2 y 3 de la planta, en el área de extracción de jugo, relacionadas con sus respectivas potencias, velocidades y cantidad de molinos que impulsan. Las turbinas 1 y 2 se pueden considerar gemelas y accionan la misma cantidad de mazas; en este esquema se utiliza 20 kg/cm² como un aproximado de 300 psi (por razones de fácil representación en la figura N°1.4), la cual es la presión manométrica del vapor de entrada de dichas turbinas.

En el ANEXO 1, se puede mostrar más detalladamente se muestra una disposición de un molino, transmisión (tren de engranajes) y su accionamiento de molinos (en este caso, una turbina a contrapresión).

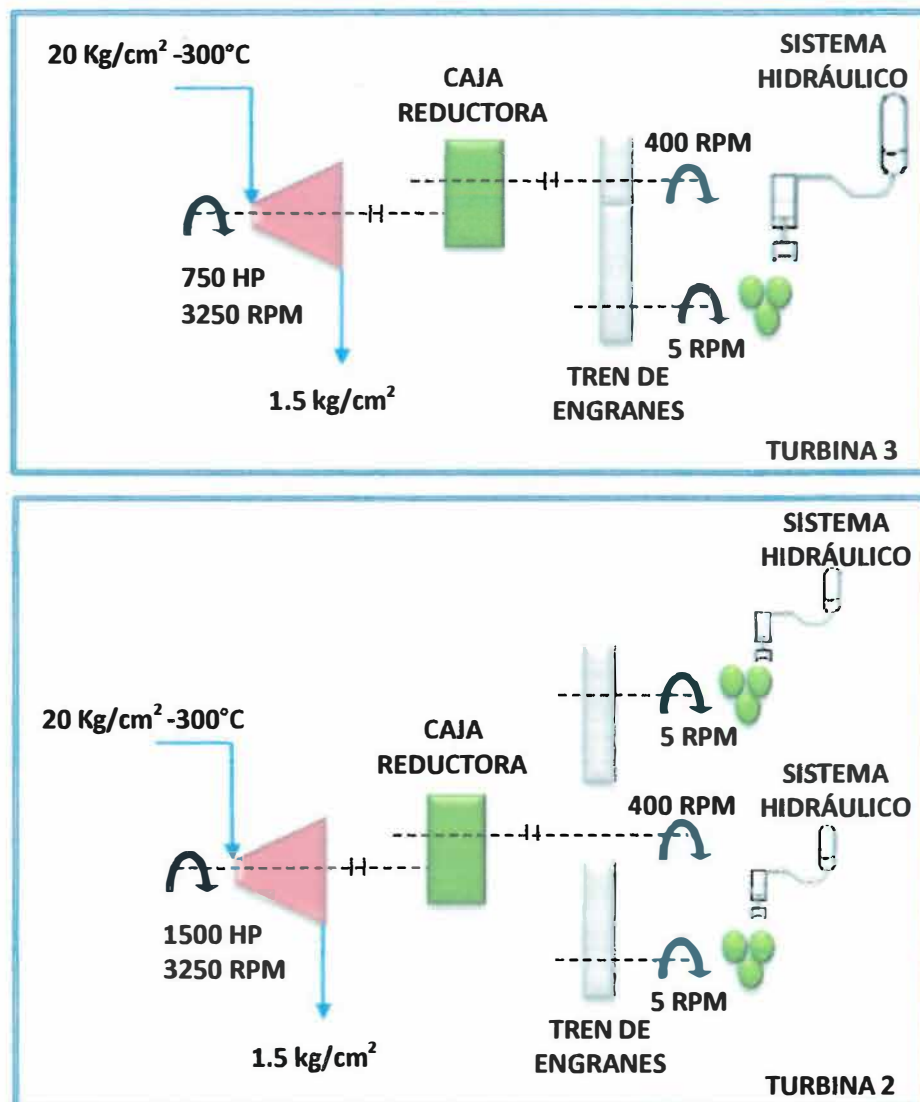


Figura N° 1.4: Representación de las turbinas mecánicas del área de extracción
Fuente: Elaboración Propia, 2014

Cada molino tiene acoplado, a la turbina, una caja reductora y 2 trenes reductoras de velocidad para obtener una velocidad final en las mazas de 4 a 5 RPM; la figura N° 1.5 muestra un esquema básico representando de tándem de molinos indicando sus principales componentes.

La caña ya “preparada” ingresa al primer MOLINO N° 1, donde es triturada y se obtiene la primera extracción de jugo (en los molinos). La caña molida es enviada hacia el MOLINO N°2, donde es nuevamente triturada, y así hasta llegar al MOLINO N° 5 a través de los CONDUCTORES N° 1 a N° 5; el residuo, conocido como bagazo, es enviado a las calderas productoras de vapor de agua.

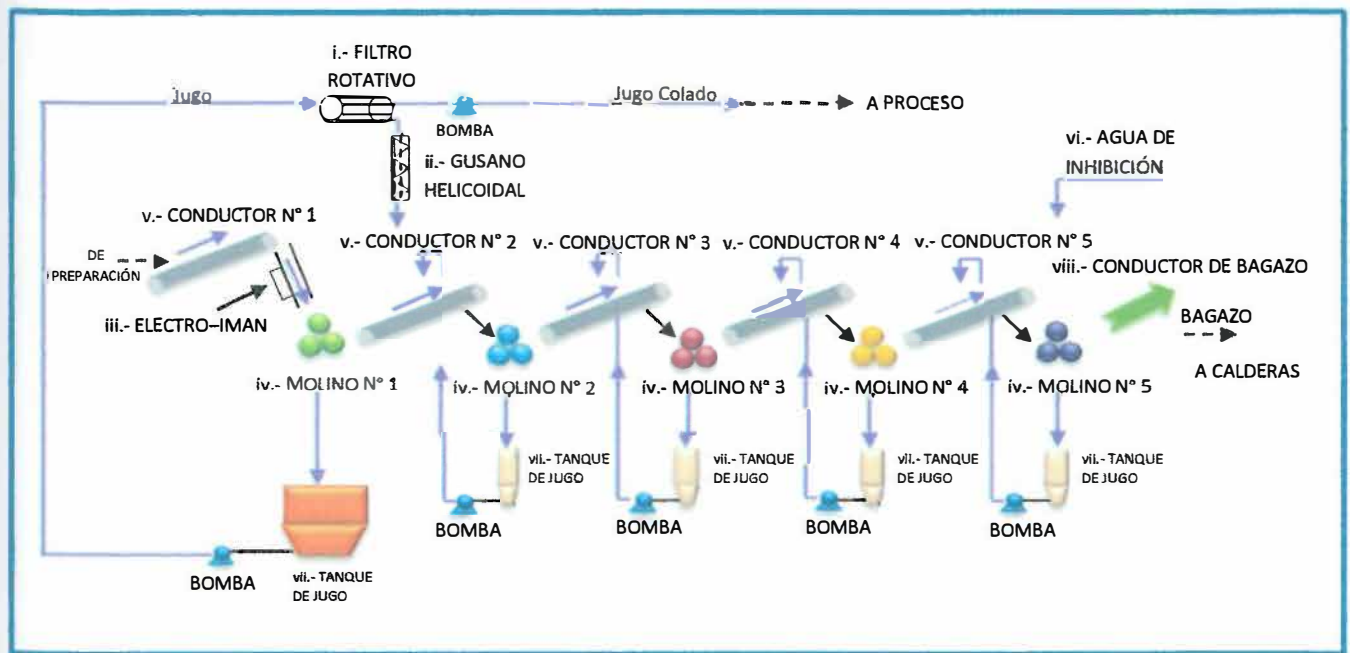


Figura N° 1.5: Esquema básico de un tándem de molinos del Ingenio analizado

Fuente: Elaboración Propia, 2013

- i. Filtro rotativo: Separa y regresa bagazo restante del jugo extraído a la molienda.
- ii. Gusano Helicoidal: Vía por donde el bagazo restante retornado al primer molino.
- iii. Electro-imán: Con finalidad de atrapar material metálico que pueda llevar la caña.
- iv. Molino: Constituido de 3 mazas cilíndricas, se ejerce la presión para extraer jugo.
- v. Conductor intermedio: Banda transportadora que lleva el bagazo entre molinos.
- vi. Agua de inhibición: Agua caliente utilizada para ayudar a moler la caña.
- vii. Tanque de Jugo mezclado: Tanque donde se almacena el jugo extraído en la molienda; este se bombea al filtro rotativo y a procesos de producción de azúcar.
- viii. Conductor de bagazo: Conduce el bagazo al área de las calderas.

1.3 PRODUCCIÓN DE VAPOR

Otra zona fundamental para el proceso analizado son las calderas. Se encargan de la producción de vapor a través de una transferencia de calor a presión constante, donde un fluido en estado líquido es calentado y cambia a fase gaseosa. En nuestro caso, el agua cambia de fase, a vapor de agua.

El vapor generado en las calderas es utilizado para la generación de energía eléctrica (electricidad) a través de "un ciclo de Rankine"; el salto de entalpía para la generación de potencia eléctrica y el calor latente para procesos de cocimientos de jugo de caña y elaboración de azúcar.

La planta cuenta con 5 calderas acuo-tubulares, de bagazo, con condiciones operación de presión manométrica de 20 bar y temperatura de 300 °C; con capacidad de producción total de generación de vapor de agua de entre 115 T/h y 120 T/h (capacidad máxima de 180 T/h).

“En la actualidad hay una gran tendencia en las industrias por la utilización de recursos no convencionales y renovables como fuente de energía primaria, por temas de ahorro, contaminación, etc. Tal como el caso del bagazo en Ingenios azucareros.” (Cueva Urgiles, 2009)

En el proceso de molienda de caña de azúcar queda un residuo que es el bagazo. Este bagazo es quemado en las calderas para la producción de vapor de agua, utilizado como combustible no convencional en la generación de energía.

Actualmente, el ingenio procesa caña a 4000 T/d, o en otras palabras, 200 T/h, de esta cantidad un 30 % es bagazo, que contiene en promedio un 50 % de humedad y 2% de Pol factores que afectan el poder calorífico de este. (Fuente: Laboratorio de la empresa analizada, 2013)

1.4 PLANTA DE FUERZA

Se le denomina planta de fuerza a la zona de la planta encargada de la generación de energía eléctrica, a través de la utilización del vapor de agua de alta presión generado por las calderas de la misma planta. Dicha generación se consigue tras la utilización de una turbina de vapor conectado a una excitatriz y un generador eléctrico, a este conjunto se le denomina turbogenerador.

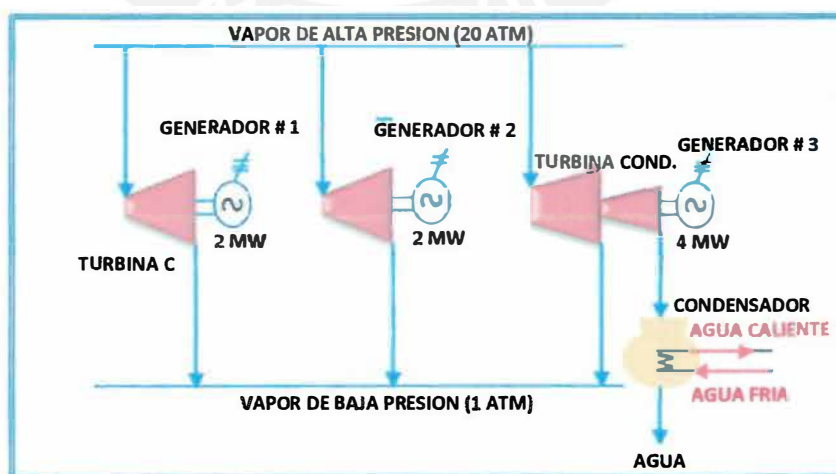


Figura N° 1.6: Esquema de turbogeneradores a contrapresión y condensación
Fuente: Elaboración Propia, 2014

Actualmente, la planta consta con 2 tipos de turbogeneradores de un total de 3 unidades; 2 turbogeneradores a contrapresión pequeños de una producción de energía de 2 MW cada uno; y 1 turbogenerador de condensación grande de una producción de energía de 4 MW respectivamente. En las figuras N° 1.6 se muestra un esquema de un turbogenerador a contrapresión y de condensación.

El turbogenerador a contrapresión utiliza vapor de agua de alta presión y otorga vapor de agua de baja presión, produciendo energía eléctrica. A diferencia del turbogenerador de condensación, que otorga agua condensada; sin embargo, este último también tiene la opción de que un porcentaje de flujo sea redirigido para que otorgue vapor de baja presión. A diferencia de las turbinas utilizadas en la etapa de extracción, estas últimas son denominadas como "turbinas mecánicas".

1.5 TURBINAS DE VAPOR DE AGUA

Las turbinas utilizadas en la planta analizada son acuo-tubulares, se tiene diversos tipos, tales como turbinas de contrapresión, en el accionamiento de molinos; y turbinas de condensación en los turbogeneradores. Estos equipos son una parte importante de la maquinarias de la planta, ya que son las encargadas de generar el salto entálpico para la generación de energía eléctrica o potencia mecánica; y de transformar el vapor de agua de alta presión a vapor de agua de baja presión.

Para poder evaluar la eficiencia, consumo de vapor, potencia mecánica y salto entálpico de una turbina se debe analizar su consumo específico de vapor por etapa (en el caso sea de múltiples etapas de extracción). La obtención del consumo específico de vapor debe seguir un procedimiento de cálculos, el cual se presenta a continuación, junto a todas las ecuaciones necesarias para su resolución:

$$\eta_T = \frac{h_1 - h_{real}}{h_1 - h_{ideal}} \quad [1.1]$$

Dónde:

η_T : Eficiencia isoentrópica de la Turbina (%).

h_1 : Entalpía de vapor de entrada (definido según T° y P°) (kJ/kg)

h_{real} : Entalpía de vapor de salida real (calculado) (kJ/kg)

h_{ideal} : Entalpía de vapor de salida ideal (entalpía isoentrópica) (kJ/kg)

$$CSV = 3600 * (h_1 - h_{real})^{-1} \quad [1.2]$$

Dónde:

CSV: Consumo específico de vapor por etapa (T/MW.h)

h_1 : Entalpía de vapor de entrada (definido según T° y P°) (kJ/kg)

h_{real} : Entalpía de vapor de salida real (calculado) (kJ/kg)

$$CV = \frac{CSV * Pot}{1000} \quad [1.3]$$

Dónde:

CV: Consumo de vapor (T/h)

CSV: Consumo específico de vapor por etapa (T/MW.h)

Pot: Potencia Generada por la turbina (kW)

Finalmente, teniendo la potencia y el consumo específico de vapor podemos obtener fácilmente el consumo de vapor por etapa que tiene la turbina.

Los principales objetivos de la determinación del consumo de vapor, en una planta azucarera, son los siguientes:

- Comparar con la producción de vapor de alta presión que tiene las calderas.
- Comparar con la necesidad de vapor de baja presión que requiere la planta, y.
- Determinar la energía eléctrica producida en la planta de fuerza y compararlas con la necesidad energética de la planta.

1.6 CONDICIONES DE OPERACIÓN DE LA FABRICA

Para poder asegurar buenas condiciones de operación de la planta analizada se debe cumplir con todos los requerimientos que pueda tener, los cuales se llamarán desde ahora como “necesidades”.

Necesidad energética:

Se le llama “necesidad energética” a la mínima cantidad de energía eléctrica que la planta necesita para poder abastecer a todas sus áreas de procesamiento. Ya que las planta azucareras cuentan con una propia planta de fuerza, donde se genera energía eléctrica; esta debe generar por lo menos la “necesidad energética”.

Si la generación de energía eléctrica es menor a la “necesidad energética”, entonces se debe comprar energía; de lo contrario, si el excedente es suficiente se podría vender energía, las plantas con esta condición se les llaman cogeneradores.

Para poder hallar la “necesidad energética” de la planta azucarera analizada debe utilizarse las siguientes ecuaciones:

$$NE = \frac{Proc * CSEE}{1000} \quad [1.4]$$

Dónde:

NE: Necesidad energética de una planta (MW)

Proc: Procesamiento de caña de azúcar (T/h)

CSEE: Consumo específico de energía eléctrica (kW-h/T)

$$CT = NE * C \quad [1.5]$$

Dónde:

CT: Consumo total de energía (MW)

NE: Necesidad energética de una planta (MW)

C: Porcentaje de consumo energético dirigido hacia los campos de caña (%)

Posterior a la “necesidad energética”, debe tomarse en cuenta que un porcentaje de esta es destinado hacia los campos de caña de azúcar. A esta nueva “necesidad energética” lo podemos nombrar como consumo total de energía de la fábrica.

Necesidad de vapor de baja presión de la fábrica:

Se llama “necesidad de vapor de baja presión” al mínimo flujo de vapor de salida que los procesos en las áreas de procesamiento de elaboración de azúcar necesita para abastecer su necesidad. Este vapor debe salir de las turbinas de los turbogeneradores y está relacionada con la producción de vapor de agua de alta.

En ocasiones cuando la necesidad de vapor de baja es alta, y las turbinas no tienen la capacidad de generar la suficiente. Se manda a un reductor que le baja la presión y pasan directamente a los procesos (sin generar energía ni vapor).

“La necesidad de vapor de baja presión” se calcula con la siguiente ecuación:

$$NVP = Proc * CEVP \quad [1.6]$$

Dónde:

NVP: Necesidad de vapor de baja presión (Tvaporbaja/h)

Proc: Procesamiento de caña de azúcar (T/h)

CEVP: Consumo específico de vapor de baja presión (Tvaporbaja/Tcaña)

1.7 PRODUCCIÓN DE VAPOR DE BAJA PRESIÓN

La producción de vapor de baja presión se da en las turbinas de la planta; normalmente, esta cantidad es la misma que el consumo de vapor de alta presión. Sin embargo, en el caso de tener turbinas de condensación se debe tener en cuenta otro tipo de cálculo, la ecuación para dicho cálculo se presenta a continuación:

$$CVBP = CV - \left(\frac{P_{cond} * Pot * CSV}{100} \right) \quad [1.7]$$

Dónde:

CVBP: Consumo de vapor de baja presión (Tvaporbaja/h)

CV: Consumo de vapor (T/h)

Pcond: Porcentaje de flujo por etapa de condensación (%)

Pot: Potencia Generada por la turbina (kW)

CSV: Consumo específico de vapor por etapa (T/MW.h)

1.8 ÁREA DE CALDERAS

En el área de calderas es donde están instaladas las calderas de la planta, estas se encargan de cambiar de fase al agua para poder obtener vapor de agua para la utilización en las turbinas situadas en las demás áreas. Entonces, la generación o flujo de vapor de alta presión es un dato muy importante que debe ser calculado cuidadosamente. Para obtener este cálculo, se sigue un procedimiento, el cual inicial desde el flujo de combustible que tiene cada caldera hasta la cantidad nominal de calor que puede otorgar dicho combustible para calentar.

A continuación, se presentará un conjunto de ecuaciones que tienen como objetivo final poder obtener la producción total de vapor de alta presión de cada caldera.

$$CSB = \frac{PCL_b * \eta_c}{(h_s - h_e)} \quad [1.8]$$

Dónde:

CSB: Consumo específico de bagazo de la Caldera (kg_vapor/kg_bagazo)

PCL_b: Poder calorífico Inferior del Bagazo (kJ/kg)

η_c: Eficiencia de la Caldera (%)

h_s : Entalpía de agua o vapor de salida de Caldera (definido según T° y P°) (kJ/kg)

h_e : Entalpía de agua o vapor de entrada de Caldera (definido según T° y P°) (kJ/kg)

$$FB = Proc * R_{b/c} \quad [1.9]$$

Dónde:

FB: Flujo de bagazo (Tbagazo/h)

Proc: Procesamiento de caña de azúcar (T/h)

$R_{b/c}$: Relación bagazo/caña (Tbagazo/Tcaña)

$$RB = FB * PRB \quad [1.10]$$

Dónde:

RB: Reserva de bagazo (Tbagazo/h)

FB: Flujo de bagazo (Tbagazo/h)

PRB: Porcentaje de reserva de bagazo (%)

$$FRB = FB - RB \quad [1.11]$$

Dónde:

FRB: Flujo real de bagazo hacia las calderas (Tbagazo/h)

FB: Flujo de bagazo (Tbagazo/h)

RB: Reserva de bagazo (Tbagazo/h)

Finalmente, conocidos el flujo real de bagazo hacia las calderas y el consumo específico de bagazo, se puede calcular el flujo de vapor producido por las calderas.

$$FVP = FRB * CSB \quad [1.12]$$

Dónde:

FVP: Flujo de vapor producido por las calderas (Tvapor/h)

FRB: Flujo real de bagazo hacia las calderas (Tbagazo/h)

CSB: Consumo específico de bagazo de la Caldera (kg_vapor/kg_bagazo)

1.9 ACCIONAMIENTO DE MOLINOS

El proceso más importante en una planta azucarera es la extracción de jugo; básicamente, es el área donde la caña es convertida en jugo de caña y bagazo. Esta "separación" es hecha por molinos de caña, de 3 mazas en nuestro caso; a su vez, esta es girada por un accionamiento de molinos, turbinas de vapor.

Para poder tener una selección correcta de un accionamiento de molinos, se precisa obtener la potencia consumida en los molinos de caña, el cual representa un margen a seguir para los molinos y para su accionamiento. Dicha potencia depende de diferentes tipos de factores; tales como, flujo de caña, dimensiones de los molinos, fibra de caña, etc. Las ecuaciones necesarias para obtener la potencia se presenta a continuación:

$$T = \frac{n.D}{e} \left[P \left(0,5 \sqrt{\frac{r}{d.f}} + 0,07 \right) + 4L \right] \quad [1.13]$$

Dónde:

T: Potencia total consumida por un molino (HP)

n: Velocidad de rotación de los cilindros (RPM)

D: Diametro de la maza (m)

e: Rendimiento de engranes (%)

P: Presión hidráulica total aplicada (T)

r: Carga fibrosa específica de molino (kg/m²/m)

d: Densidad del bagazo comprimido el en plano axial de los cilindros de salida (kg/m³)

f: Fibra de bagazo con relación a la unidad (%fibra/%jugoyfibra)

L: Largo de la maza (m)

El cálculo de la potencia de accionamiento de molinos comprende una serie de cálculos extras para poder determinar cada una de las variables nombradas anteriormente. Dichos cálculos se representan en las siguientes ecuaciones:

$$e = c_1 * c_2 * c_3 * c_4 \quad [1.14]$$

Dónde:

e: Rendimiento de engranes (%)

c_1 : Fricción de los diversos bronces (%)

c_2 : Rendimiento de las coronas (%)

c_3 : Pérdida en el acoplamiento (%)

c_4 : Rendimiento de cada par de engranes (%)

$$P = 2 * \left(\frac{\pi D_p^2}{4} \right) * \left(\frac{\rho_m}{2000} \right) \quad [1.15]$$

Dónde:

P: Presión hidráulica total aplicada (T)

D_p : Diámetro del pistón hidráulico (in)

ρ_m : Presión hidráulica manométrica cargada en la botella (lb/in²)

$$r = \frac{q}{D} \quad [1.16]$$

Dónde:

r: Carga fibrosa específica de molino (kg/m²/m)

q: Carga fibrosa (kg/m²/min)

D: Diametro de la maza (m)

$$q = \frac{Proc * Fib * 1000}{60\pi * D * L * n} \quad [1.17]$$

Dónde:

q: Carga fibrosa (kg/m²/min)

Proc: Procesamiento de caña de azúcar (T/h)

Fib: Fibra de caña (%)

D: Diámetro de la maza (m)

L: Largo de la maza (m)

n: Velocidad de rotación de los cilindros (RPM)

$$d = \frac{JCS}{JCS+FCS} * \rho_{JC} + \frac{FCS}{JCS+FCS} * \rho_{FC} \quad [1.18]$$

Dónde:

d: Densidad del bagazo comprimido en el plano axial de los cilindros de salida (kg/m³)

JCS: Porcentaje de jugo de caña que sale del primer molino (%)

FCS: Porcentaje de fibra de caña que sale del primer molino (%)

ρ_{JC} : Densidad de jugo de caña (kg/m³)

ρ_{FC} : Densidad de fibra de caña (kg/m³)

$$JCS = JCE * (1 - JE) \quad [1.19]$$

Dónde:

JCS: Porcentaje de jugo de caña que sale del primer molino (%)

JCE: Porcentaje de jugo de caña que entra al primer molino (%)

JE: Porcentaje de jugo de caña que se extrae en el primer molino (%)

$$JCE = (1 - Fib) \quad [1.20]$$

Dónde:

JCE: Porcentaje de jugo de caña que entra al primer molino (%)

Fib: Fibra de caña (%)

$$FCS = FCE = Fib \quad [1.21]$$

Dónde:

FCS: Porcentaje de fibra de caña que sale del primer molino (%)

FCE: Porcentaje de fibra de caña que entra al primer molino (%)

Fib: Fibra de caña (%)

$$f = \frac{FCS}{JCS+FCS} \quad [1.22]$$

Dónde:

f: Fibra de bagazo con relación a la unidad (%fibra/%jugoyfibra)

FCS: Porcentaje de fibra de caña que sale del primer molino (%)

JCS: Porcentaje de jugo de caña que sale del primer molino (%)

Finalmente, se debe considerar una potencia mayor a la obtenida siguiendo algunas consideraciones, tales como sobrecarga y resbalamientos. Este aumento se representa como un porcentaje a considerar, la siguiente ecuación lo mostrará:

$$PT = 0,746 * T * (1 + SS) \quad [1.23]$$

Dónde:

PT: Potencia total necesaria para un molino (kW)

T: Potencia total consumida por un molino (HP)

SS: Porcentaje adicional de potencia considerando sobrecargas y resbalamientos (%)

Cada una de las ecuaciones utilizadas en la obtención de la potencia total necesaria para un molino fue tomada del siguiente libro. Referencia: REIN, Peter, 2000. *Ingeniería de la caña de azúcar*. Colombia.

1.10 CONDICIONES DE ENTREGA

Las reglas INCOTERM 2010, o términos internacionales de comercios, son términos establecidos que reflejan las normas de aceptación voluntaria por el comprador y vendedor de un producto. Son usadas para definir las condiciones de entrega de mercancía y establecer correctamente los costos de transacción comercial. Ya que en nuestro proyecto se deberá comprar, hasta exportar, maquinaria y accesorios necesarios para una buena instalación de dichos; se debe tener claro los términos más utilizados como condiciones de entrega, para así poder establecer el costo de transporte y "puesta en planta" de dicha maquinaria (pagado por la empresa compradora).

1. EXW (Ex Works):

El vendedor pone la mercancía a disposición del comprador en su instalación: fábrica, almacén, etc. Todos los gastos a partir de este lugar van por cuenta de la empresa compradora. O dicho en otras palabras, la mercancía es recogida en el mismo lugar donde fue producida.

2. FOB (Free On Board)

El vendedor entrega la mercancía sobre el buque, pero el comprador debe encargarse de designar y reservar dicho transporte. Además, FOB se utiliza exclusivamente para transporte en barco, ya sea marítimo o fluvial.

3. CIF (Cost, Insurance and Freight)

El vendedor se encarga de todos los costos, incluido transporte principal y seguro, hasta que la mercancía llegue al puerto del país de destino. Aunque el seguro lo ha contratado el vendedor, el beneficiario del seguro es el comprador. Sin embargo, el riesgo se transfiere al comprador en el momento que la mercancía se encuentra cargada en el buque, en el país de origen. El CIF marca el valor en aduanas de un producto que se importa. Además, CIF es exclusivo del medio marítimo.

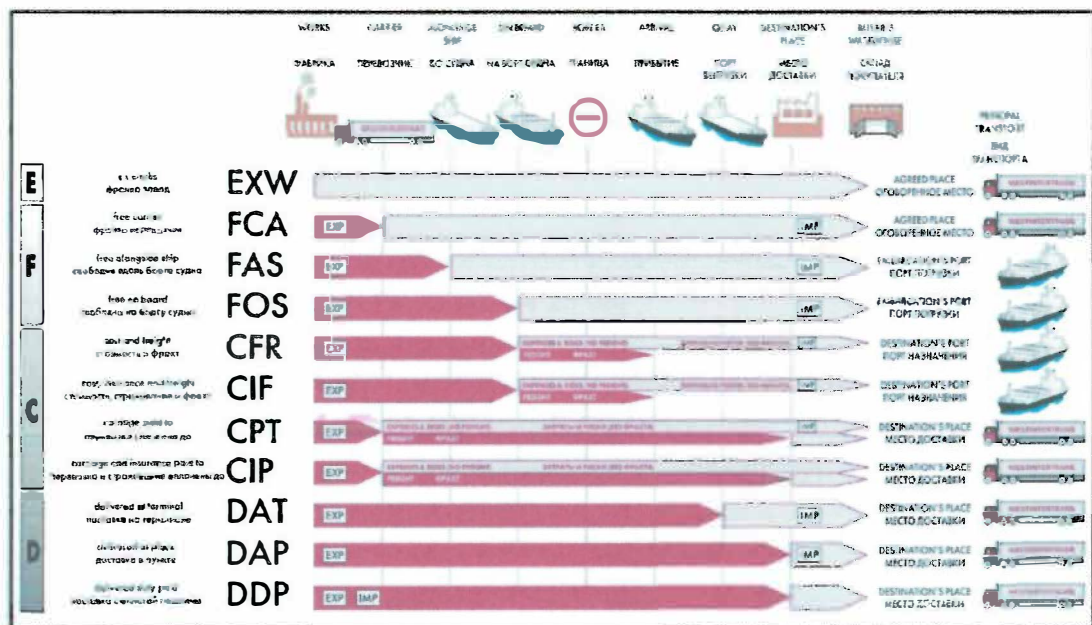


Figura N° 1.7: Diagrama de categorización de los términos de comercio

Fuente: ADUAMERICA, Junio del 2014

Referencias Bibliográfica

- [1.1] Pomalca S.A., 2012. *Tipos de accionamiento de molinos*. Perú [Consulta: 2014 10 02]
- [1.2] Shield, Carl, 1979. *Calderas; tipos, características y sus funciones*. México: Compañía Editorial Continental
- [1.3] Bioenergía del Perú, 2014. *Estadísticas del negocio de caña de azúcar y combustibles*. Perú [Consulta: 2014 10 02]
- [1.4] SIB, 2011. *Sector azucarero, Análisis de sectores económicos*. [Consulta: 2014 10 02]
- [1.5] Novoa Alfredo, 2009. *Energía Renovable a base de residuos de empresas que producen alcohol y azúcar*. Perú. [Consulta: 2014 08 08]
- [1.6] Caña Brava, 2010. *Beneficios del Cultivo de la caña de Azúcar Peruana*. [Web en línea]. <http://www.canabrava.com.pe/index.php?option=com_content&view=article&id=132&Itemid=79> [Consulta: 2014 25 03]
- [1.7] MAR Y GERENCIA, 2000. *Términos del Comercio Intemacional (Incoterms 2000)*. [Web en línea]. <<http://marygerencia.com/2009/09/07/terminos-del-comercio-internacional-incoterms/>> [Consulta: 2014 02 02]

CAPITULO 2

EVALUACIÓN Y DIAGNÓSTICO DE LA PLANTA

2.1 DATOS GENERALES

El tándem del Ingenio analizado cuenta con 5 molinos de caña impulsados por 3 turbinas de vapor a contrapresión a una presión manométrica de admisión de 300 psi; intermedio, 50 psi y escape, 20 psi; y una temperatura promedio de 300 °C. La energía térmica contenida en el vapor es transformada en energía mecánica en el interior turbina, el vapor producido es enviado al proceso de elaboración de azúcar.

Por otro lado, la planta consta con un total de 3 turbogeneradores; 2 a contrapresión pequeños de una producción de energía de 2 MW cada uno; y 1 de condensación /extracción de una producción de energía de 4 MW respectivamente. Sin embargo, bajo las condiciones de operación actual de la planta, se genera solamente 6 MW (de una capacidad máxima de 8 MW) de energía térmica, 4 MW por necesidad de planta y 1 MW por necesidad de bombeo a los cultivos aproximadamente. La energía generada se reparte a lo largo de toda la planta; y el vapor de escape es enviado a procesos de elaboración de azúcar.

Finalmente, la planta cuenta con 5 calderas acuo-tubulares con condiciones de operación de presión manométrica de 20 bar y temperatura de 300 °C; con capacidad de producción total de generación de vapor de agua de 100 - 110 T/h (máxima de 180 T/h). El vapor de escape de "alta presión" es enviado a la planta de fuerza para la generación de energía térmica.

2.2 MODELO CONCEPTUAL DE DIAGNOSTICO DE PLANTA

La finalidad de este capítulo es realizar un diagnóstico exhaustivo de la planta en sus condiciones actuales, con el objetivo de evaluarla y poder determinar la eficiencia total de operación de la planta, analizando cada una de las 3 siguientes áreas: Extracción de jugo de caña, Calderas y Planta de fuerza.

Para poder facilitar el entendimiento del procedimiento de obtención de eficiencia total de la planta, la figura 2.1 muestra un modelo conceptual de diagnóstico de la planta, indicando todas las comparaciones y decisiones que se deben llevar a cabo.

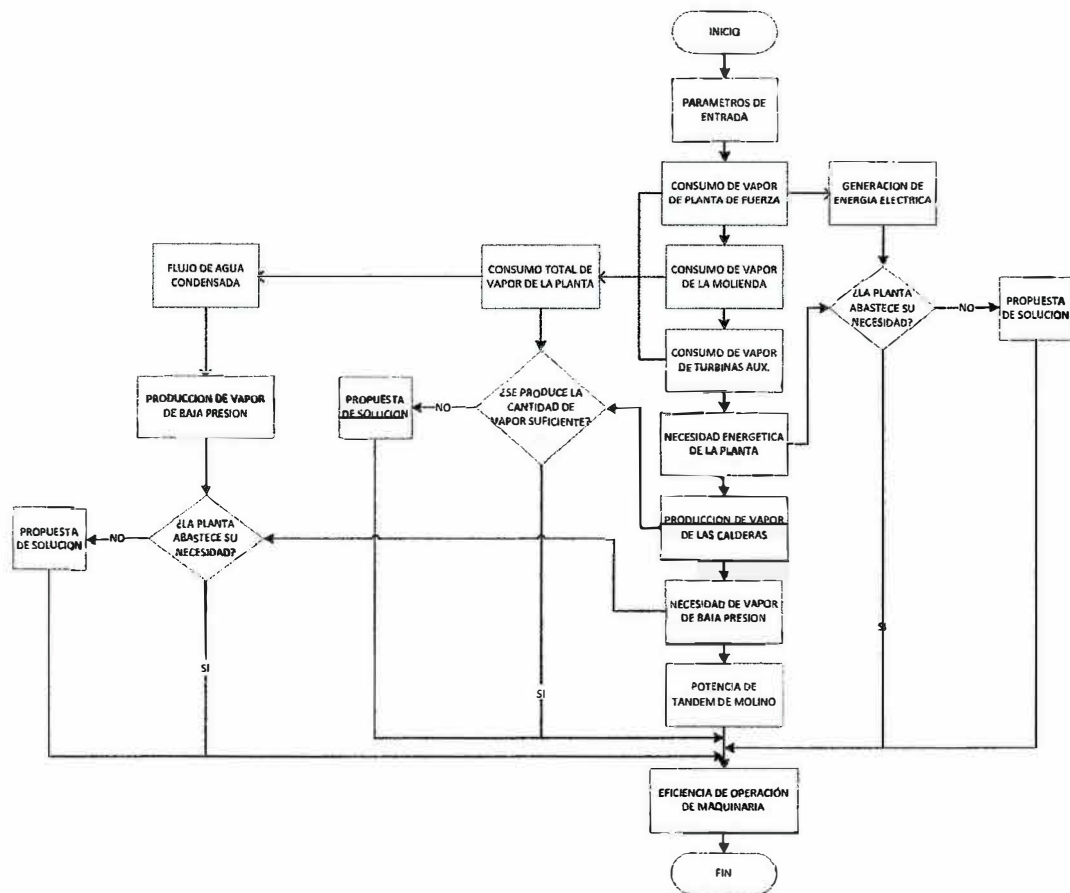


Figura N° 2.1: Modelo conceptual de diagnóstico de la planta
Fuente: Elaboración Propia, 2014

2.3 PARAMETROS DE ENTRADA DE LA PLANTA ACTUALMENTE

Para poder obtener un correcto diagnóstico de la planta, se necesita tener disponibles todos los parámetros o datos de entrada de la planta. En las siguientes tablas a continuación, se presentarán todos los datos antes mencionados, categorizados según el área donde estén instaladas y como fueron medidas.

1. Planta de fuerza

En la tabla 2.1 se presenta los valores generales y de placa de los turbogeneradores. Además, se midió las condiciones del vapor de agua que ingresa y sale de dichos turbogeneradores. Se utilizó un conjunto de mediciones tomadas durante todo el mes de febrero (mes donde el flujo es más estable), se seleccionó un conjunto mediciones críticas, de las cuales se tomó “la medida más crítica”. Esta selección se hizo de esta manera para poder tomarlo como un punto de referencias para las condiciones de operación de los turbogeneradores.

En el ANEXO 2, se pueden ver todos los datos de vapor del día seleccionado como referencia para representar las condiciones de operación de los turbogeneradores.

Tabla 2.1: Estado termodinámico de vapor de los Turbogeneradores (medidos)

Turbogenerador	Turbogenerador 1 contrapresión	Turbogenerador 2 contrapresión	Turbogenerador 3 condensación
Vapor de entrada (A.P.)			
T°	310,21 °C	306,04 °C	315,63 °C
P. Mano.	17,78 atm	18,52 atm	18,68 atm
Tipo	Vapor sobrecalentado	Vapor sobrecalentado	Vapor sobrecalentado
H	3050,00 kJ/kg	3038,40 kJ/kg	3059,40 kJ/kg
S	6,83 kJ/kg.K	6,80 kJ/kg.K	6,83 kJ/kg.K
Vapor de salida (B.P.)			
T°	153,80 °C	148,80 °C	165,30 °C
P. Mano.	1,41 atm	1,46 atm	1,83 atm
Tipo	Vapor sobrecalentado	Vapor sobrecalentado	Vapor sobrecalentado
Vapor de Vacío (V.P.)			
T°	-	-	65,60 °C
P. Mano.	-	-	567,10 mm Hg(g)
P. Abs.	-	-	192,90 mm Hg(a)
Tipo	-	-	Vapor Húmedo

Nota. Fuente: Planta de fuerza de la planta, 2013.

Tabla 2.2: Eficiencia de los turbogeneradores

Turbogenerador	Turbogenerador #1	Turbogenerador #2	Turbogenerador #3
Etapas	1	1	1 2
Antigüedad	40 años	40 años	40 años
Eficiencia actual calculada	65,00 %	65,00 %	65,00 % 65,00 %

Nota. Fuente: Planta de fuerza de la planta, 2013.

Tabla 2.3: Potencia generada por los turbogeneradores

Turbogenerador	Turbogenerador #1	Turbogenerador #2	Turbogenerador #3
Etapas	1	1	1 2
Velocidad medida	3700 RPM	3700 RPM	3500 RPM 3500 RPM
Potencia generada medida	1594,71 kW	1544,83 kW	3313,13 kW
Porcentaje flujo por etapa	100,00 %	100,00 %	90,00 % 10,00 %

Nota. Fuente: Planta de fuerza de la planta, 2013.

También, se presenta lo eficiencia actual, de operación, de los turbogeneradores (no son isoentrópico); junto con la energía eléctrica que actualmente se está generando en dichos turbogeneradores, tomando en cuenta que uno de ellos es de condensación y tiene un flujo de agua condensada de salida.

2. Extracción de jugo o molienda

Se presenta una tabla con valores generales y de placa de los las turbinas mecánicas de las moliendas. Además, se midió las condiciones del vapor de agua que ingresa y sale de dichos turbinas. Dichas medidas fueron tomadas de un conjunto de mediciones tomadas en el mes de febrero (mes donde el flujo es estable), se selección una hora de un día del mes y se tomará como representación de condiciones de trabajo de turbinas. Se tomó la medida más crítica.

En el ANEXO 3, se pueden ver todos los datos de vapor del día seleccionado como referencia para representar las condiciones de operación de las turbinas mecánicas de la molienda.

Tabla 2.4: Estado termodinámico del vapor de las turbinas mecánica (medidos)

Turbina Mecánica	Turbina Mecánica #1	Turbina Mecánica #2	Turbina Mecánica #3
Vapor de entrada (A.P.)			
T°	300,00 °C	300,00 °C	300,00 °C
P. Mano.	20,33 atm	19,94 atm	19,45 atm
Tipo	Vapor sobrecalentado	Vapor sobrecalentado	Vapor sobrecalentado
H	3019,30 kJ/kg	3020,50 kJ/kg	3021,90 kJ/kg
S	6,73 kJ/kg.K	6,74 kJ/kg.K	6,75 kJ/kg.K
Vapor de salida (B.P.)			
T°	124,90 °C	126,00 °C	128,40 °C
P. Mano.	1,02 atm	1,01 atm	1,03 atm
Tipo	Vapor sobrecalentado	Vapor sobrecalentado	Vapor sobrecalentado

Nota. Fuente: Área de extracción de la planta, 2013.

Tabla 2.5: Eficiencia de las turbinas mecánicas

Turbina Mecánica	Turbina Mecánica #1	Turbina Mecánica #2	Turbina Mecánica #3
Etapas	1	1	1
Antigüedad	35 años	35 años	35 años
Eficiencia actual calculada	65,00 %	65,00 %	65,00 %

Nota. Fuente: Área de extracción de la planta, 2013.

Tabla 2.6: Potencia nominal otorgada de las turbinas mecánicas

Turbina Mecánica	Turbina Mecánica #1	Turbina Mecánica #2	Turbina Mecánica #3
Velocidad medida	3100 RPM	3400 RPM	3100 RPM
Potencia de trabajo nominal	671 kW	1000 kW	1000 kW

Nota. Fuente: Área de extracción de la planta, 2013.

3. Turbinas auxiliares

La planta establece una máxima cantidad de flujo de vapor que podría ser dirigida hacia las turbinas auxiliares, el cual es de 0,5 T/h

4. Datos generales de consumo específico de energía eléctrica de la planta

El consumo específico de energía eléctrica de un ingenio es una relación muy importante para esta, ya que gracias a ella se puede calcular la cantidad de energía que la planta necesita para poder operar. Dichos márgenes ya están establecidos y varían según la fábrica sea o no electrificada. (Silva Lora, 2010)

Tabla 2.7: Datos importantes de la planta

Datos de entrada	
Flujo total de caña	200 T/h
Consumo específico de energía eléctrica (no electrificado)	20 kW-h/T
Porcentaje de consumo energético dirigido hacia los campos de caña	25,00 %

Nota. Fuente: Laboratorio de la planta, 2014.

5. Calderas

Las calderas son las encargadas de la generación de vapor; sin embargo, esta planta se utiliza bagazo como combustible no convencional. Se definirá como primer dato, la relación de dicho bagazo con la caña procesada. (Silva Lora, 2010)

Tabla 2.8: Calderas, consumo de bagazo

Nº de Caldera	Calderas 1, 2, 4, 5 y 6
Flujo total de caña	200 T/h
Relación bagazo/caña	0,30 Tbagazo/Tcaña
Porcentaje de reserva	10,00 %

Nota. Fuente: Área de calderas de la planta, 2014.

Además, las siguientes tablas presentaran valores generales y de placa de las calderas, junto con las condiciones del vapor de agua que esta produce. En este caso no se tuvo un conjunto de mediciones, sino se utilizó otro criterio, se evaluó el día y la hora (aproximadamente) donde el flujo de vapor de las calderas es estable y se trabajó con dicho dato. El día y la hora fue: 14 febrero del 2014 a las 4 p.m. aproximadamente, 2 horas después del arranque de la molienda (una vez al año se tiene una parada en la planta para mantenimiento). También, se indica si dicha caldera trabaja con economizador o no.

Tabla 2.9: Estado termodinámico de agua/vapor de las calderas

N° de caldera	Caldera 1 sin Economizador	Caldera 2 con Economizador	Caldera 4 sin Economizador	Caldera 5 con Economizador	Caldera 6 sin Economizador
Agua de domo					
T°	108 °C	148 °C	108 °C	148 °C	108 °C
P. Mano.	22,44 atm	28,05 atm	22,44 atm	28,05 atm	28,05 atm
Tipo	Líquido Subenfriado	Líquido Subenfriado	Líquido Subenfriado	Líquido Subenfriado	Líquido Subenfriado
H	454,25 kJ/kg	624,78 kJ/kg	454,25 kJ/kg	624,78 kJ/kg	454,66 kJ/kg
Vapor de agua de salida del domo					
T°	300 °C	300 °C	300 °C	300 °C	300 °C
P. Mano.	19,72 atm	18,38 atm	20,40 atm	21,28 atm	19,35 atm
Tipo	Vapor sobrecalentado	Vapor sobrecalentado	Vapor sobrecalentado	Vapor sobrecalentado	Vapor sobrecalentado
H	3020,00 kJ/kg	3023,90 kJ/kg	3017,90 kJ/kg	3015,30 kJ/kg	3021,00 kJ/kg

Nota. Fuente: Área de calderas de la planta, 2013.

Tabla 2.10: Eficiencia de las Calderas

N° de Caldera	Calderas 1, 2, 4, 5 y 6
Antigüedad	35 años
Eficiencia Nominal	75,00 %
Eficiencia actual medida	60,00 %

Nota. Fuente: Área de calderas de la planta, 2013.

Finalmente, se llevó a analizar una porción de bagazo entrante a dichas calderas en los laboratorios de la planta, y así se pudo obtener los datos presentados a continuación, información importante del bagazo:

Tabla 2.11: Propiedades del bagazo

Bagazo entrante	
Fibra de caña	12,50%
Humedad	50,00 %
Pol (Porcentaje de sacarosa en el bagazo)	2,00 %
Poder Calorífico Inferior	9200,00 kJ/kg

Nota. Fuente: Laboratorio de la planta, 2013.

6. Accionamiento de molinos

La potencia de los accionamientos de molinos; potencia que debe otorgar los accionamientos; o potencia requerida por los molinos son los datos más importantes para poder tener una correcta selección de dichos accionamientos. Sin embargo, para su cálculo se necesita diversos datos de entradas, las cuales se mostraran en las siguientes tablas:

Tabla 2.12: Datos importantes de las mazas

Datos de entrada	
Velocidad de rotación de cilindros	6,25 RPM
Diámetro de la maza	0,94 m
Largo de la maza	1,98 m

Nota. Fuente: Planta analizada, 2014.

Tabla 2.13: Eficiencia de transmisión (placa)

Datos de entrada	
Fricción de los diversos bronce	95,00 %
Rendimiento de las coronas	90,00 %
Pérdida en el acoplamiento	95,00 %
Rendimiento de cada par de engranes	98,00 %

Nota. Fuente: Planta analizada, 2014.

Tabla 2.14: Información de Presión Hidráulica

Datos de entrada	
Diámetro del pistón hidráulico	13 in
Presión hidráulica manométrica cargada en la botella	2500 lb/in ²

Nota. Fuente: Planta analizada, 2014.

Tabla 2.15: Información de Carga Fibrosa específica

Datos de entrada	
Carga fibrosa	11,40 kg/m ² /min
Flujo de caña	200 T/h
Fibra de caña	12,50 %

Nota. Fuente: Planta analizada, 2014.

Tabla 2.16: Información de densidad de bagazo

Datos de entrada	
Densidad de jugo de caña	1,05 kg/m ³
Densidad de fibra de caña	1,38 kg/m ³
Porcentaje de jugo de caña, se extrae en el primer molino	60,00 %
Porcentaje de fibra de caña que entra al primer molino	12,50 %
Porcentaje de jugo de caña que entra al primer molino	87,50 %
Porcentaje de fibra de caña que sale del primer molino	12,50 %
Porcentaje de jugo de caña que sale del primer molino	35,00 %

Nota. Fuente: Elaboración propia, 2014.

7. Datos generales de consumo específico de vapor de baja presión

El consumo específico de vapor de baja presión de un ingenio es una relación muy importante, ya que gracias a esta se puede calcular la mínima cantidad de vapor de alta que debe producir. Y, si las turbinas son de condensación, se debe considerar el flujo de vapor que se retira como agua condensada.

Tabla 2.17: Datos importantes de vapor de baja presión

Datos de entrada	
Flujo de caña	200 T/h
Consumo específico de vapor de baja presión	0,55 $T_{\text{vaporbaja}}/T_{\text{caña}}$

Nota. Fuente: Elaboración propia, 2014.

8. Distribución de tuberías de vapor y estado de aislamiento

En el ANEXO 4, se muestra una distribución aproximada de las tuberías de vapor de agua, separado por tres categorías:

1. Tuberías de vapor de alta presión que sale de los calderos.
2. Tuberías de vapor de alta presión dirigida hacia la planta de fuerza y molienda
3. Tuberías de vapor de baja presión dirigida hacia la planta.

Tomando en cuenta la distribución de tuberías, se observó y midió el porcentaje de tuberías que no cuenta con aislamiento (longitud aislada sobre longitud total).

Tabla 2.18: Distribución de tuberías y su porcentaje aislante

ITEM	DESCRIPCION	DIMENSION DE LA TUBERIA	LONGITUD (m)	Diámetro (in)	TUBERIA AISLADA ($L_{\text{aisl}}/L_{\text{total}}$)
1. TUBERIA SALIDA DE CALDEROS					
5	CALDERO N°1	Ø6" SCH80 ASTM-A106	30 700	6 (0,15 m)	80% (m/m)
7	CALDERO N°2	Ø8" SCH80 ASTM-A106	23 190	8 (0,20 m)	70% (m/m)
2	CALDERO N°4	Ø6" SCH80 ASTM-A106	15 730	6 (0,15 m)	70% (m/m)
9	CALDERO N°5	Ø8" SCH80 ASTM-A106	43 910	8 (0,20 m)	70% (m/m)
3	CALDERO N°6	Ø10" SCH80 ASTM-A106	70 770	10 (0,25 m)	70% (m/m)
2. TUBERIA DE ESCAPE					
	TURBINAS TRAPICHE	Ø20" SCH80 ASTM-A106	116 250	20 (0,50 m)	90% (m/m)
	TURBINAS PLANTA ELECTRICA	Ø24" SCH80 ASTM-A106	57 170	24 (0,60 m)	90% (m/m)
3. TUBERIA INGRESO					
1	FABRICA	Ø4" SCH80 ASTM-A106	10 000	4 (0,10 m)	90% (m/m)
8	TURBINAS PLANTA ELECTRICA	Ø10" SCH80 ASTM-A106	43 300	10 (0,25 m)	100% (m/m)
6	TURBINAS TRAPICHE	Ø9" SCH80 ASTM-A106	106 100	9 (0,22 m)	80% (m/m)
4	TURBINAS AGUA ALIMENTACION	Ø4" SCH80 ASTM-A106	50 050	4 (0,10 m)	95% (m/m)
	COLECTOR	Ø20" espesor 1 1/4" Acero	5 105	20 (0,50 m)	100% (m/m)

Nota. Fuente: Laboratorio de la planta, 2014.

2.4 CONSUMO DE VAPOR DE LA PLANTA DE FUERZA

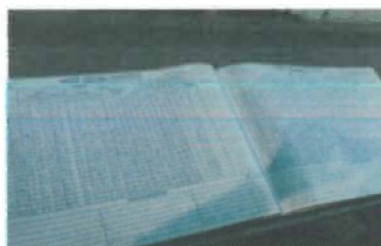


Figura N° 2.2: Cuaderno de toma de parámetros importantes de los turbogeneradores

Fuente: Empresa analizada, 2013

En la figura N° 2.2, se muestra el cuaderno de tomas de parámetros importantes de los 3 turbogeneradores situados en la planta de fuerza, tras la utilización de los datos presentados en dicho cuaderno se puede realizar todos los cálculos presentados en este capítulo. Como se comentó anteriormente, se escogió un horario (condición crítica) de una semana donde (empíricamente comprobado) el flujo de material es estable. Ver ANEXO 2 para más detalles.

Para poder obtener el consumo de vapor de cada uno de los turbogeneradores, primero se debe tener los consumos específicos de vapor de dichos, los cuales se calculan con las ecuaciones 1.1 y 1.2. Se debe considerar el cálculo por etapa, ya que el turbogenerador #3 es una turbina de condensación y dirige un 90% del flujo de vapor a extracción y el otro 10% a condensación.

Reemplazado los valores de la tablas 2.1, 2.2 y 2.3 en las ecuaciones 1.1 y 1.2, obtenemos la tabla 2.19 de resultados de consumo específico de vapor.

Tabla 2.19: Consumo específico de vapor de los turbogeneradores

N° de Turbogenerador	Consumo Específico de Vapor
Turbo. #1	13,02 T(vapor)/MW.h
Turbo. #2	13,05 T(vapor)/MW.h
Turbo. #3, etapa 1	13,57 T(vapor)/MW.h
Turbo. #3, etapa 2	7,132 T(vapor)/MW.h

Nota. Fuente: Elaboración propia, 2013.

Finalmente, con los cálculos y tablas ya presentadas anteriormente, se puede tener los consumos de vapor de cada uno de los turbogeneradores, los cuales se presentan en la tabla 2.20 y se calculan con la ecuación 1.3.

Se llega a la conclusión que la energía total producida por los 3 turbogeneradores es la siguiente:

Producción de energía total de los turbogeneradores: 6,45 MW

Por otro lado, el consumo de vapor de agua de la planta de fuerza se presenta a continuación:

Consumo de vapor de agua total de los turbogeneradores: 83,74 T/h

Tabla 2.20: Consumo de vapor de los turbogeneradores

Turbogenerador	Turbogenerador 1 contrapresión	Turbogenerador 2 contrapresión	Turbogenerador 3 condensación	
Potencia medida	1594,71 Kw	1544,83 kW	3313,13 kW	
Etapa	1	1	1	2
Consumo específico de vapor por etapa	13,02 T/MW.h	13,05 T/MW.h	13,57 T/MW.h	7,132 T/MW.h
Consumo total de vapor	20,76 T/h	20,16 T/h	42,82 T/h	

Nota. Fuente: Elaboración propia, 2013.

2.5 CONSUMO DE VAPOR DE LA MOLIENDA



Figura N° 10: Cuaderno de toma de parámetros importantes de las turbinas mecánicas

Fuente: Empresa analizada, 2013

En la figura N° 2.3, se muestra un cuaderno de tomas de parámetros importantes de las 3 turbinas mecánicas que son utilizadas como accionamiento de molinos en el área de extracción de jugo. Tras la utilización de estos datos se pudo hacer todos los cálculos presentados en este capítulo. Como se comentó anteriormente, se escogió un horario (condición crítica) de una semana donde (empíricamente comprobado) el flujo de material es estable. Ver ANEXO 3 para más detalles.

Para poder obtener el consumo de vapor de cada una de las turbinas mecánicas, primero se debe tener los consumos específicos de vapor de dichos, los cuales se calculan con las ecuaciones 1.1 y 1.2 (por cada etapa de la turbina).

Reemplazado los valores de la tablas 2.4, 2.5 y 2.6 en las ecuaciones 1.1 y 1.2, obtenemos la tabla 2.21 de resultados de consumo específico de vapor.

Tabla 2.21: Consumo específico de vapor de las turbinas mecánicas

N° de Turbina Mecánica	Consumo Específico de Vapor
Turbina Mecánica #1	11,86 T(vapor)/MW.h
Turbina Mecánica #2	11,91 T(vapor)/MW.h
Turbina Mecánica #3	12,05 T(vapor)/MW.h

Nota. Fuente: Elaboración propia, 2013.

Finalmente, con los cálculos y tablas ya presentadas anteriormente, se puede tener los consumos de vapor de cada una de las turbinas mecánicas, los cuales se presentan en la tabla 2.22 y se calculan con la ecuación 1.3.

Se determinó que la potencia otorgada por las 3 turbinas mecánicas es la siguiente: **2761 MW**

Entonces, el consumo de vapor de agua de las turbinas mecánicas y totales es:

Consumo de vapor de turbinas mecánicas: **31,91 T/h**

Consumo total de vapor de la planta: **115,65 T/h**

Tabla 2.22: Consumo de vapor de las turbinas mecánicas

Turbina Mecánica	Turbina Mecánica #1	Turbina Mecánica #2	Turbina Mecánica #3
Potencia de trabajo nominal	671 Kw	1000 kW	1000 kW
Consumo específico de vapor por etapa	11,86 T/MW.h	11,91 T/MW.h	12,05 T/MW.h
Consumo total de vapor	7,95 T/h	11,91 T/h	12,05 T/h

Nota. Fuente: Elaboración propia, 2013.

2.6 CONSUMO DE VAPOR DE TURBINAS AUXILIARES

Adicionalmente, la planta cuenta con turbinas de apoyo, las cuales son sólo utilizadas en el caso de que el sistema original tenga algún tipo de problemas o mantenimiento. Las áreas que tienen estas turbinas, las cuales son llamadas turbinas de emergencia o auxiliares, son las siguientes

- Sistema de agua de alimentación de las calderas, turbo-bombas de apoyo.
- Desfibradora de caña de azúcar, turbina de contrapresión de apoyo "KKK".

En este caso, no se realizó ningún cálculo de consumo, sino la planta estableció la cantidad máxima de flujo de vapor que podría ser enviada a estas turbinas auxiliares, ya que solamente son utilizadas en caso de emergencia, de 0,5 T/h. Sin embargo, es un consumo de vapor que debe considerarse en el consumo total.

Finalmente, la tabla 2.23 muestra el consumo de vapor de las turbinas de la planta, considerando el flujo de turbinas auxiliares.

Tabla 2.23: Consumo de vapor de turbinas y turbinas auxiliares

Datos de salida	
Consumo de vapor de turbinas mecánicas	31,91 T/h
Consumo de vapor de turbogeneradores	83,74 T/h
Consumo de vapor de turbinas auxiliares	0,5 T/h
Consumo TOTAL	116,15 T/h

Nota. Fuente: Elaboración propia, 2014.

2.7 NECESIDAD ENERGÉTICA DE LA FÁBRICA

La necesidad energética de una fábrica o ingenio azucarero se le denomina a la cantidad de energía térmica y/o eléctrica que una planta en teoría necesita como mínimo para poder cubrir todas sus necesidades operativas. Utilizando los datos de entrada que se muestra en la tabla 2.7 junto con las ecuaciones 1.4 y 1.5, podemos obtener la necesidad energética y consumo total de energía de la planta analizada. Dichos resultados se muestran en la tabla 2.24.

Tabla 2.24: Necesidad energética de la fabrica

Datos de salida	
Necesidad energética de una planta	4 MW
Consumo energético de campos	1 MW
Consumo total de energía	5 MW
Producción de energía total	6,45 MW

Nota. Fuente: Elaboración propia, 2014.

Por otro lado, existe un consumo pequeño de energía para otros establecimientos, tales como, oficinas y fugas. Con los resultados obtenidos de necesidad de energía actual de la planta, podemos concluir que la planta si abastece su necesidad de energía, ya que su producción energética en los turbogeneradores es de 6,45 MW.

2.8 PRODUCCION DE VAPOR DE LAS CALDERAS

La producción de vapor de agua de las calderas es directamente proporcional a la cantidad de bagazo que es quemado en ellas. El bagazo mandando hacia las calderas está directamente conectado con la cantidad de caña que se procesa en la molienda. La relación entre ellos, según cálculos químicos y biológicos, es llamada relación de bagazo/caña en una caldera para una buena combustión o consumo de bagazo, la cual se presenta en la tabla 2.8, para cada una de las calderas.

Para poder obtener la producción de vapor de cada una de las calderas, primero se debe tener los consumos específicos de bagazo. Dichos cálculos se realizaron con los datos de las tablas 2.9, 2.10 y 2.11 junto con la ecuación 1.8; los cuales se presentan en la tabla 2.25.

Tabla 2.25: Consumo específico de bagazo de las calderas

N° de Caldera	Consumo Especifico de Bagazo
Caldera #6	2,15 kg(vapor)/kg(bagazo)
Caldera #5	2,31 kg(vapor)/kg(bagazo)
Caldera #4	2,15 kg(vapor)/kg(bagazo)
Caldera #2	2,30 kg(vapor)/kg(bagazo)
Caldera #1	2,15 kg(vapor)/kg(bagazo)

Nota. Fuente: Elaboración propia, 2013.

Posterior, debe calcularse el flujo real de bagazo, para el cual usaremos los datos expuestos en la tabla 2.8, junto con las ecuaciones 1.9, 1.10 y 1.11. Los resultados se presentan en la tabla 2.26, mostrada a continuación:

Tabla 2.26: Calderas, flujo real de bagazo

N° de Caldera	Calderas 1, 2, 4, 5 y 6
Relación bagazo/caña	0,30 Tbagazo/Tcaña
Porcentaje de reserva	10%
Flujo de bagazo	60 Tbagazo/h
Reserva de bagazo	6 Tbagazo/h
Flujo real de bagazo	54 Tbagazo/h

Nota. Fuente: Elaboración propia, 2013.

Finalmente, conocidos el flujo real de bagazo hacia las calderas y el consumo específico de bagazo, se puede calcular el flujo de vapor real producido por las calderas utilizando la ecuación 1.12, el resultado final se muestra en la tabla 2.27.

Tabla 2.27: Vapor producido por las calderas

N° de Caldera	Calderas 1, 2, 4, 5 y 6
Flujo real de bagazo total	54 Tbagazo/h
Vapor total producido	119,45 Tvapor/h
Consumo total de vapor	116,15 Tvapor/h

Nota. Fuente: Elaboración propia, 2013.

Además, con los resultados obtenidos se puede concluir que se produce vapor de alta suficiente para abastecer el consumo total de la fábrica, 116,15 Tvapor/h.

Para poder tener un mejor entendiendo y distribución de vapor de alta; en la tabla 2.28, se presenta la cantidad de bagazo que es dirigido hacia cada una de las calderas junto con la producción de vapor de cada una de. Dicho vapor es dirigido hacia un colector de vapor, para posteriormente ser distribuido a las diversas áreas.

Tabla 2.28: Bagazo y producción de vapor por Caldera

N° de caldera	Caldera 1	Caldera 2	Caldera 4	Caldera 5	Caldera 6	Total
Economizador	No	Si	No	Si	No	-
Flujo real de bagazo	9,2 T/h	8,6 T/h	9,3 T/h	8,6 T/h	18,6 T/h	≈ 54 T/h
CSB [kg(vapor)/kg(bagazo)]	2,15	2,30	2,15	2,31	2,15	-
Vapor producido	19,78 T/h	19,78 T/h	20,00 T/h	19,87 T/h	40 T/h	≈ 119,45 T/h

Nota. Fuente: Elaboración propia, 2014.

2.9 POTENCIA REQUERIDA POR LOS MOLINOS

La potencia requerida por los molinos, en la extracción de jugo, debe ser otorgada por los accionamientos de molinos, turbinas de vapor para nuestro caso; obtenida dicha potencia se puede tener una selección correcta del accionamiento. Para poder calcularlo se debe tener primero datos importantes de entrada, los cuales se midieron en la planta y serán presentados a continuación en las tablas 2.12 – 2.16. Utilizando los datos presentados y las ecuaciones 1.13 - 1.22, podemos obtener todas las variables necesarias para poder calcular la potencia total consumida por un molino. Dichas variables se muestran en la tabla 2.29, a continuación:

Tabla 2.29: Potencia total consumida por un molino

Datos de salida	
Rendimiento de engranes	80,00 %
Presión hidráulica total aplicada	331,83 T
Carga fibrosa específica de molino	12,13 kg/m ² /m
Densidad del bagazo comprimido en plano axial de los cilindros de salida	1136,84 kg/m ³
Fibra de bagazo con relación a la unidad	0,26 %fibra/%jugoyfibra
Potencia total consumida por un molino	476,37 HP

Nota. Fuente: Elaboración propia, 2014.

Adicionalmente, se debe considerar un porcentaje adicional contabilizando sobrecargas y resbalamientos; con las cuales obtenemos una potencia total necesaria para un molino. La tabla 2.30 muestra los resultados finales obtenidos, utilizando la ecuación 1.23 como sustento del cálculo.

Tabla 2.30: Potencia total necesaria para un molino

Datos de salida	
Potencia total consumida por un molino	476,37 HP
Porcentaje adicional de potencia para sobrecargas y resbalamientos	35,00 %
Potencia total necesaria para un molino	479,76 kW

Nota. Fuente: Elaboración propia, 2014.

2.10 NECESIDAD DE VAPOR DE BAJA PRESION DE LA FÁBRICA

Se le denomina necesidad de vapor de baja presión a la mínima cantidad o flujo de vapor de baja presión que los diversos procesos en las áreas de una planta azucarera necesitan para poder abastecer su mínima necesidad según la tecnología, cantidad de procesos y eficiencia de la planta. Utilizando los datos de entrada que se muestra en la tabla 2.17 junto con la ecuación 1.6, podemos obtener la necesidad de vapor de baja presión requerido por las áreas de procesamiento de azúcar de la planta, dichos resultados se muestran en la tabla 2.31.

Tabla 2.31: Necesidad de vapor de baja presión

Datos de salida	
Flujo de caña	200 T/h
Necesidad de vapor de baja presión	110 T _{vaporbaja} /h
Consumo total de vapor de la planta	116,15 T _{vaporalta} /h

Nota. Fuente: Elaboración propia, 2014.

Finalmente, se compara la necesidad de vapor de baja presión con la producción de vapor de baja presión, la cual, normalmente, es igual al consumo de vapor de alta, para verificar si la planta es capaz de abastecer su necesidad. Sin embargo, la planta analizada tiene una turbina de condensación, la cual extrae un porcentaje del vapor al condensador y extraída como agua condensada. Utilizando las tablas 2.3 y 2.20 junto con la ecuación 1.7 podemos obtener la producción de vapor de baja.

Tabla 2.32: Producción de vapor de baja presión

Datos de salida	
Consumo total de vapor de la planta	116,15 T _{vaporalta} /h
Porcentaje de flujo de condensación	10,00 %
Flujo de vapor de condensación	2,36 T/h
Producción de vapor de baja presión	113,79 T _{vaporbaja} /h

Nota. Fuente: Elaboración propia, 2014.

Entonces, los turbogeneradores y turbinas consumen 116,15 T/h de vapor y producen 113,29 T/h de vapor de baja. Lo cual es suficiente para abastecer la necesidad de la fábrica. No fue necesario mandar flujo por la válvula reductora.

2.11 DISTRIBUCION DE TUBERIAS DE VAPOR Y AISLAMIENTO

En el ANEXO 4, se muestra una distribución de tuberías de vapor de agua, el cual nos da una idea general de cómo se distribuye el vapor en la empresa analizada. Como ya se mencionó antes, el vapor es redirigido a un colector de vapor de alta presión y se redirige a las diversas áreas. Sin embargo, existe un porcentaje de tramos de tuberías que no cuenta con aislamiento.

Utilizando los datos mostrados en la tabla 2.18, se puede aproximar la eficiencia total aislante de las tuberías analizadas. Este indicador es inversamente proporcional a la pérdida de calor o energía que se puede tener en la tubería por metro recorrido por el vapor; a mayor eficiencia de aislamiento, menores pérdidas. Dichos resultados se presentan en la tabla 2.33, a continuación:

Tabla 2.33: Aislamiento de tuberías de vapor

ITEMS	DESCRIPCION	LONGITUD (m)	TUBERIA AISLADA (L_aisl/L_total)	LONGITUD AISLADA (m)
TUBERIA SALIDA DE CALDEROS				
5	CALDERO N°1	30 700	80 % (m/m)	24 560
7	CALDERO N°2	23 190	70 % (m/m)	16 233
2	CALDERO N°4	15 730	70 % (m/m)	11011
9	CALDERO N°5	43 910	70 % (m/m)	30 737
3	CALDERO N°6	70 770	70 % (m/m)	49 539
TUBERIA DE ESCAPE				
	TURBINAS TRAPICHE	116 250	90 % (m/m)	104 625
	TURBINAS PLANTA ELECTRICA	57 170	90 % (m/m)	51 453
TUBERIA INGRESO				
1	FABRICA	10 000	90 % (m/m)	9 000
8	TURBINAS PLANTA ELECTRICA	43 300	100 % (m/m)	43 300
6	TURBINAS TRAPICHE	106 100	80 % (m/m)	84 880
4	TURBINAS AGUA ALIMENTACION	50 050	95 % (m/m)	47 547,5
5	COLECTOR	5 105	100 % (m/m)	5 105
	SUB-TOTAL	572275	SUB-TOTAL	477 990,5
			EFICIENCIA	83,52 %

Nota. Fuente: Elaboración propia, 2014.

Considerando la cantidad de tuberías que cuenta con aislamiento adecuado. Entonces, se puede considerar una eficiencia global de todas las tuberías de vapor, el cual es 83,52 %. También le podemos llamar eficiencia de utilización de aislamiento o porcentaje de tuberías aisladas (longitud aislada sobre longitud total).

2.12 DISPOSICIÓN DE LA PLANTA

La figura N° 2.4 representa un diagrama de bloques general del proceso de producción de azúcar del ingenio analizado. La molienda es accionada por turbinas de vapor, las cuales obtiene dicho vapor de alta de las calderas de la misma planta.

Según cálculos realizados para el planteamiento del proyecto, el 70% del vapor de agua producida en las calderas son mandados a la planta de fuerza para la generación de energía térmica; y el 30% restante es enviado a las turbinas mecánicas, que son usadas como accionamiento de molinos, del área de molienda.

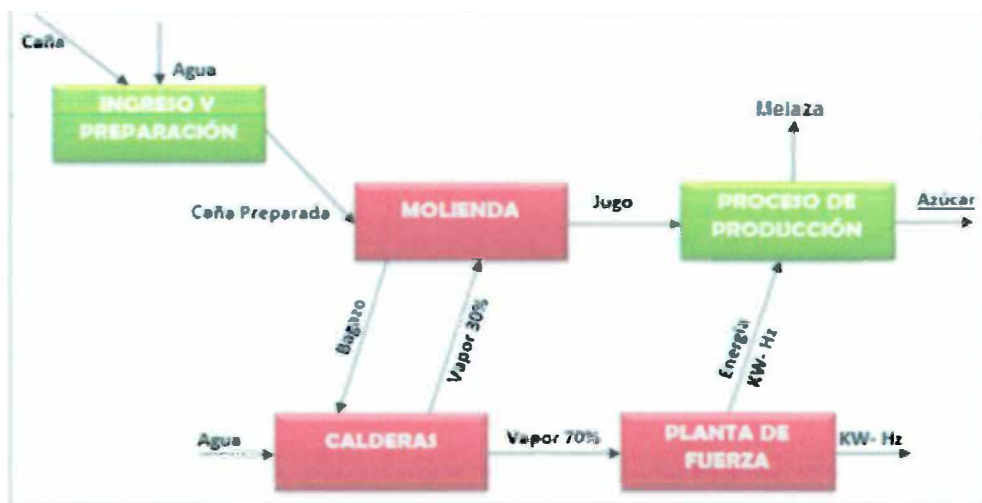


Figura N° 11: Diagrama de bloques general del proceso de producción de azúcar

Fuente: Elaboración Propia, 2014

En la tabla 2.34, se presenta la cantidad vapor dirigida hacia la molienda y la planta de fuerza, junto con sus respectivos porcentajes.

Tabla 2.34: Porcentajes de flujos por área de la planta

Área	Molienda	Turbogeneradores	Turbinas Auxiliares	Planta
Consumo de Vapor	31,91 T/h	83,74 T/h	0,5 T/h	116,15 T/h
Porcentajes por área	27,47 %	72,09 %	0,44 %	100,00 %
Producción de vapor de baja presión	31,91 T/h	81,38 T/h	0,5 T/h	113,79 T/h
Producción de energía	-	6452,67 kW	-	6452,67 kW

Nota. Fuente: Elaboración propia, 2014.

El vapor generado por las calderas es distribuido de la siguiente manera: el 100% es dirigido a un colector de vapor de alta presión, el cual distribuye este vapor hacia las turbinas de molienda (31,91 T/h), los turbogeneradores (83,74 T/h), turbinas auxiliares (0,5 T/h); y, si es necesario, se manda un porcentaje por la válvula reductora de presión, tal como se indica en la figura N° 2.5.

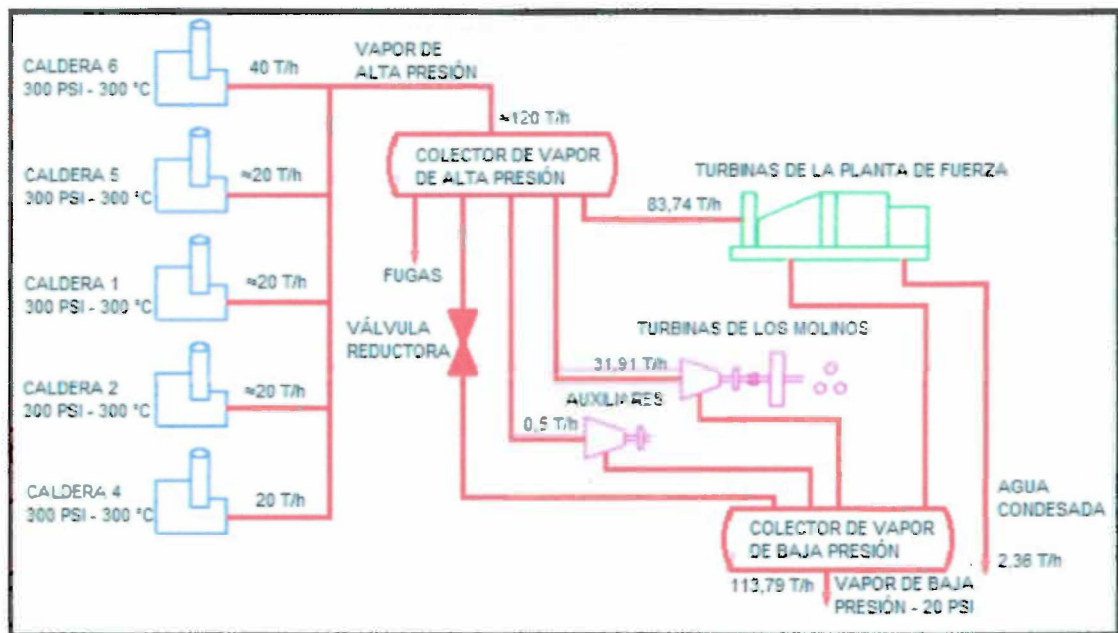


Figura N° 12: Distribución de vapor sin electrificar los molinos
Fuente: Elaboración Propia, 2014

De la figura N° 2.5, se verifica que se obtiene 113,79 T/h de vapor de baja presión, también llamado vapor de escape, a una presión manométrica aproximada de 20 psi, este vapor es usado para el proceso de elaboración de azúcar en la planta; además, se obtiene 2,36 T/h de agua condensada, la cual es juntada con el agua condensada del proceso de elaboración; y es mandada a pozos de agua para, posteriormente, ser recirculada de vuelta, a través de bombas, a las calderas para la producción de vapor.

2.13 CAPACIDAD DE MAQUINARIA

En la siguiente tabla 2.35, se muestra las condiciones de operación nominal, máxima (reducida por la antigüedad) y de trabajo. Y se puede notar que no se tiene un máximo aprovechamiento de las máximas condiciones de trabajo.

Las calderas están a un 80% de su capacidad nominal; las turbinas de vapor de los turbogeneradores, 80%; y las turbinas mecánicas, 75%.

Las condiciones nominales nombradas en la tabla hacen referencias a los valores de placa leídos en el momento que la maquinaria fue comprada, aproximadamente hace 40 años; las condiciones máximas son consideradas como los valores de operación que pueden ser alcanzadas actualmente, como máximo (disminuidas por la antigüedad); y, finalmente, las condiciones de trabajo son los valores medidos de la maquinaria bajo un régimen de trabajo en condiciones normales.

Tabla 2.35: Capacidad de maquinaria de la planta

Equipos	Unidades de producción	Condiciones Nominales	Condiciones Máximas	Condiciones de trabajo
Caldera #1	Tvapor/h	40	32	20
Caldera #2	Tvapor/h	40	32	20
Caldera #4	Tvapor/h	40	32	20
Caldera #5	Tvapor/h	40	32	20
Caldera #6	Tvapor/h	100	80	40
Turbogenerador #1	kW	2,2	1,76	1,6
Turbogenerador #2	kW	2,2	1,76	1,5
Turbogenerador #3	kW	4,4	3,52	3,3
Turbina Mecánica #1	HP	1250	937,5	900
Turbina Mecánica #2	HP	2000	1500	1340
Turbina Mecánica #3	HP	2000	1500	1340

Nota. Fuente: Elaboración propia, 2014.

2.14 EFICIENCIA DE OPERACIÓN DE LA PLANTA

Para poder tener una eficiencia aproximada de operación de la planta; primero, debe calcularse la eficiencia de operación o trabaja de cada una de las maquinarias o accesorios. Dicha eficiencia se calcula comparando la capacidad de trabajo con la capacidad nominal de dicha maquinaria, o analizando el porcentaje de utilización de dichas maquinas bajo su máximo capacidad de procesamiento o trabajo.

Tabla 2.36: Eficiencia de operación de maquinaria

Equipos	Unidades de producción	Condiciones Nominales	Condiciones de trabajo	Eficiencia de operación
Caldera #1	Tvapor/h	40	20	50%
Caldera #2	Tvapor/h	40	20	50%
Caldera #4	Tvapor/h	40	20	50%
Caldera #5	Tvapor/h	40	20	50%
Caldera #6	Tvapor/h	100	40	40%
Turbogenerador #1	kW	2,2	1,6	72,72 %
Turbogenerador #2	kW	2,2	1,5	68,18 %
Turbogenerador #3	kW	4,4	3,3	75%
Turbina Mecánica #1	HP	1250	900	72%
Turbina Mecánica #2	HP	2000	1340	67%
Turbina Mecánica #3	HP	2000	1340	67%
Aislamiento de tuberías	%	-	-	83, 52 %*
Eficiencia promedio aproximada de la planta				62,12 %

*Calculado previamente

Nota. Fuente: Elaboración propia, 2014.

Finalmente, se puede concluir que el conjunto de calderas tiene una eficiencia de utilización de $\approx 50\%$; el conjunto de turbogeneradores, de $\approx 72\%$; el conjunto de turbinas mecánicas, de $\approx 67\%$; eficiencia de utilización de aislamiento de las tuberías de vapor de $\approx 83\%$. Estas eficiencias parciales dan resulta a una eficiencia promedia aproximada de la planta, llamado así en este proyecto, de $\approx 62,12\%$.

En la tabla 2.37, a continuación, se presenta la eficiencia aproximada de operación o utilización de diversas empresas azucareras de diferentes países, muchas las cuales son electrificadas y con vapor de escape de presión de hasta 600 PSI.

Tabla 2.37: Eficiencia de empresas procesadoras de caña

Empresa	Lugar	Eficiencia
Usina Santa Elisa	Brasil	97 %
San Antonio	Brasil	95 %
Caña Brava S.A.	Perú	85 %
MAPLE S.A.	Perú	85 %

Nota. Fuente: Elaboración propia, 2014.

Conociendo la eficiencia aproximada de operación de plantas más grandes e importantes en diferentes lugares del mundo. Se puede llegar a la siguiente conclusión: La planta analizada en este proyecto tiene una eficiencia de trabajo o aprovechamiento de recursos de $\approx 62,12\%$, el cual es mucho menor a la eficiencia de las empresas expuestas arriba, en algunos casos de hasta 35% de diferencia.

En conclusión, la comparación de eficiencia nos da lugar a tomar la decisión de aumentar la eficiencia de la planta, así como poder aumentar el flujo de procesamiento de caña y el flujo de elaboración de azúcar y extras. Por esta y múltiples razones que se explicarán más adelante, la empresa decidió plantear y desarrollar un proyecto de mejora tecnológica llamado "expansión de campos agrícolas" con la finalidad mencionada anteriormente. La tesis presente es la primera parte del planteamiento de este gran proyecto

Referencias Bibliográfica

- [2.1] MEZA, Rodolfo, 2009. *Experiencia Brasileña en Cogeneración en Ingenios Azucareros*. México [Consultar: 2014 10 05]
- [2.2] WATER & PROCESS TECHNOLOGIES, 2008. *AÇÚCAR & ETHANOL, PRODUCTS AND APPLICATION*. Brasil.
- [2.3] ZULOETA, Rosa. *Diseño de un grupo hidroenergético con turbina michell-banki de 40 kW*. Tesis PUCP. 2012.
- [2.4] SILVA, L. 2010. *Cogeneración y generación de electricidad en la industria azucarera*. Brasil [Consultar: 2014 10 02]
- [2.5] INGENIO LA FLORIDA, 2010. *Proyecto de Bioetanol y Cogeneración de Energía*. Argentina. [Consultar: 2014 06 02]
- [2.6] MAPLE, 2012. *ETHANOL PROJECT*. Perú. [Consultar: 2014 10 01]

CAPITULO 3

PROPUESTA DE SOLUCIÓN TÉCNICA DEL PROYECTO

3.1 SOLUCIÓN TÉCNICA A LA PROBLEMÁTICA

La planta analizada tiene planes de desarrollo de un proyecto llamado “expansión de campos agrícolas”, el cual consiste en aumentar el flujo actual de producción y venta de azúcar en por lo menos un 50%. Sin embargo, como primer paso para este gran proyecto, debe garantizar un aumento de procesamiento de caña de azúcar de 50% comparado con su flujo actual.

En este capítulo, se analizará las diversas opciones que sirvan como propuesta de solución para cumplir un aumento de procesamiento de caña, analizando su viabilidad. Y se escogerá uno de ellos para que sea desarrollado y analizado más detalladamente, haciendo todas las posibles consideraciones que dicha propuesta pueda tener.

Para poder tener un aumento en el flujo de procesamiento de caña de azúcar, se puede aumentar el flujo de procesamiento de materia prima de diferentes áreas de la planta azucarera, las cuales son las siguientes:

-Calderas: Aumento de producción de vapor de alta presión, se traduce como mayor flujo de agua y mayor consumo de bagazo. Dichos en otras palabras, a mayor consumo de bagazo, se necesita mayor cantidad de procesamiento de caña. Una conexión indirecta entre la producción de vapor y procesamiento de caña de azúcar.

-Turbogeneradores: Aumento de generación de energía eléctrica, se traduce como mayor producción de vapor de alta presión. Nuevamente, se tiene una conexión indirecta entre la generación de energía eléctrica y procesamiento de caña.

-Accionamiento de molinos: aumento de la capacidad de extracción de jugo, nos permite aumentar el procesamiento de caña de azúcar. Se llega a tener una conexión directa entre la capacidad para extraer jugo y el procesamiento de caña de azúcar. Sin embargo, el aumento de extracción de jugo se puede dar de diferentes maneras, las cuales se expondrán a continuación:

*Cambio de accionamiento de molinos, se aumenta la cantidad de potencia otorgada hacia los molinos para la extracción.

*Cambio de tecnología de mazas, se disminuye la cantidad de potencia que se requiere para la extracción.

Se llegó a la conclusión que la mejor propuesta de solución para el proyecto es el cambio de accionamiento de molinos. Tomando en cuenta que como es la primera parte del proyecto “expansión de campos agrícolas” es la solución más directa y eficaz; además, la molienda es la parte de la planta con la tecnología más antigua (turbinas mecánicas utilizadas como accionamiento de molino) y deben ser cambiadas por su baja eficiencia (comparada con la tecnología actual).

En el presente capítulo, se presentará un diagnóstico de la planta si tuviera un aumento de procesamiento de caña, tomando en cuanto el cambio de accionamientos de molinos de turbinas de vapor a motores eléctricos con variador de frecuencia. Adicionalmente, se mencionará si se debe tener algún otro tipo de consideración para el desarrollo del presente proyecto. En el ANEXO 5, se presenta una representación gráfica de un motor eléctrico, indicando sus partes importantes.

3.2 MODELO CONCEPTUAL DE NUEVO DIAGNOSTICO DE PLANTA

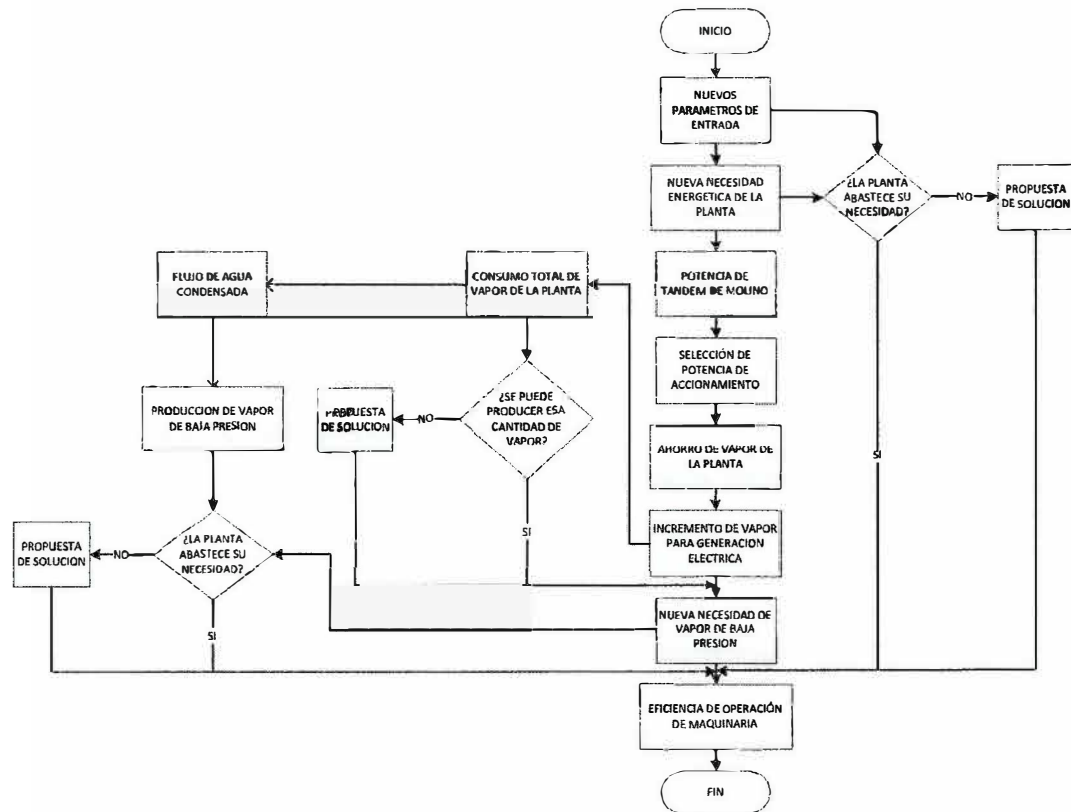


Figura N° 13: Modelo conceptual de nuevo diagnóstico de la planta

Fuente: Empresa analizada, 2014

La finalidad de este capítulo es realizar un nuevo diagnóstico exhaustivo de la planta tomando en cuenta los posibles cambios o nueva instalaciones para poder lograr el objetivo de aumento de flujo de procesamiento de caña, con el objetivo de poder justificar la correcta selección de cambio de maquinaria y/o condiciones de operación; calcular el ahorro que se puede tener tras la mejora; determinar la nueva eficiencia de planta, la cual debe ser mayor a la inicial; y presentar todas las posibles consideraciones extras que se debe tomar para la realización del proyecto.

Para poder facilitar el entendimiento del procedimiento de obtención de todos los puntos ya descritos en el párrafo anterior, la figura 4.1 muestra un modelo conceptual del nuevo diagnóstico de la planta, indicando todas las comparaciones y decisiones que se den llevar al cabo a lo largo del desarrollo.

3.3 EFICIENCIA Y MAXIMO APROVECHAMIENTO DE RECURSOS

Esta sección del capítulo lo dividiremos en diferentes partes, cada parte exponiendo un área de la planta analizada y las falencias que se puede tener tras el poco aprovechamiento de los recursos de la fábrica.

1. Mejor utilización de los equipos existentes.

El ingenio analizado cuenta con algunos equipos que no trabajan en sus puntos máximos de operación (ver tabla 2.36). Viendo la planta de fuerza, turbogeneradores, dichos equipos trabajan en puntos de operación más bajos que el nominal, ya que el proceso de elaboración de azúcar es necesaria una potencia menor a la potencia instalada, esto ocasiona un rendimiento bajo en los equipos.

Analizando el tándem de molinos, se tiene 3 turbinas a vapor de contrapresión de una sola etapa, las cuales tiene un rendimiento aproximado de 67 %. Entonces, se puede decir que el vapor generado por las calderas no es utilizado óptimamente para la producción de energía mecánica. Ya que no es mandado en su totalidad para la generación de energía; además, el porcentaje no mandado a la planta de fuerza no es en su totalidad aprovechado efectivamente.

Tras la utilización de motores eléctricos en el tándem de molinos, electrificación, se logrará mejorar el uso de vapor. Esto permitirá generar mayor cantidad de energía eléctrica usando la misma cantidad de vapor (el porcentaje que se enviaba a los molinos) y a su vez haciendo que los turbogeneradores mencionados trabajen en valores de rendimiento y operaciones más altos; que sean más eficientes.

2. Utilización de recursos antes desechados.

Actualmente, la cantidad de bagazo producido en la extracción de jugo es ligeramente mayor a la generación de vapor, se utiliza solo 90% de este bagazo. Por lo tanto, se tiene un residual de bagazo que se almacena como reserva en caso de emergencia y arranques de la molienda.

Con el objetivo de una mayor eficiencia en la producción de vapor y la generación eléctrica, se deberá disminuir la cantidad de bagazo que se reserva; así, indirectamente, la cantidad mínima de caña procesada será menor. Por otro lado, una opción extra sería elevar la presión de operación de una o más calderas de 300 a 600 psi, el cual requeriría una mayor cantidad de bagazo para la combustión para la generación de vapor, de esta manera se obtendrá mayor aprovechamiento del bagazo residual; sin embargo, esta opción no se analizará en este proyecto.

3. Aumento de procesamiento de caña utilizando recursos existentes.

La planta analizada, actualmente, produce aproximadamente 120 T/h de vapor para abastecer la producción de azúcar. Con el proyecto de electrificación de molinos, dicha cantidad de vapor no variará, o sea, la cantidad de vapor de alta presión que se requiere sería la misma, 120 T/h. Esto representa una ventaja, ya que no se necesita realizar modificaciones tras el cambio de accionamiento de molinos.

El bagazo será utilizado en mayor cantidad, con la finalidad de que la necesidad de procesamiento de caña sea menor. Dicho en otras palabras, con menos cantidad de caña procesada podríamos generar la misma cantidad de vapor en las calderas. Entonces se puede optar a disminuir la cantidad de caña procesada; o, lo que se busca en este proyecto, aumentar la cantidad de caña procesada para tener un mayor procesamiento del bagazo.

Con las ventajas mencionadas anteriormente, se puede tener un aumento de flujo de procesamiento de caña, teniendo un mejor aprovechamiento del bagazo obtenido, el vapor de alta presión producido y energía eléctrica generada. El aumento de flujo será de 50%, determinado por la planta analizada.

Los cambios que se deben realizar en la adquisición de 5 motores eléctricos para el tándem de molinos representan una inversión, el cual será cubierta con el ingreso extra que se tendrá tras aumentar el procesamiento de caña de azúcar, que dicho en otras palabras, un aumento de 50 % de producción de azúcar.

3.4 MEJORAS EN EL FUNCIONAMIENTO DETANDEM DE MOLINOS

En esta parte del proyecto, se expondrán las diversas ventajas que tienen los motores eléctricos comparado con las turbinas de vapor de agua.

1. Mejor continuidad y aumento de ritmo de molienda

“Una de las mayores dificultades en las turbinas de vapor es producida por las repentinas caídas de presión de las calderas, ocasionadas por bagazo húmedo. Al caer la presión en la línea de alimentación de vapor, el tándem disminuye la potencia mecánica de una turbina de vapor, lo cual disminuye la producción de bagazo hacia las calderas, formando un ciclo degenerativo que termina sacando de línea a la caldera y consecuentemente, la turbina.” (Matute José, 2009)

Con el remplazo de las 3 turbinas mecánicas por 5 motores eléctricos, el tándem de molinos será más estable, ya que los motores eléctricos desarrollaran la potencia y el torque necesario para mover los molinos, independientemente de las causas que puedan provocar algunas inestabilidad en las calderas (lo contrario con las turbinas mecánicas). Esto garantiza una molienda más continua y mayor ritmo de molienda, para poder evitar menos paradas por caída de presión en la línea de vapor.

2. Control de torque y velocidad

Actualmente, el parámetro de velocidad es monitoreado a través de un tacómetro instalado en cada una de las turbinas de vapor; el control se hace mecánicamente mediante el regulador de velocidad de la turbina, con poca precisión y estabilidad debido a las caídas de presión. Además, no se cuenta con un control de torque.

Con la electrificación de tándem de molinos, se contarán con equipos eléctricos de control y monitoreo en un centro de mando del tándem, con los cuales podemos controlar el torque y velocidad. De esta manera, se pueden tomar decisiones más rápidas y correctas respecto a cualquier dificultad durante el proceso de molienda.

3. Registro de las variables de procesos en el tándem de molinos

Actualmente, el registro de variables y parámetros importantes de las turbinas de molinos se lleva manualmente, tal como se muestra en la figura 2.3, se mide diversos parámetros cada hora en sus respectivos medidores durante todo el día, y son apuntados y registrados en cuadernos de trabajo. Cada área de procesamiento de la planta analizada tienen estos cuadernos de trabajo.

Gracias a la electrificación de molinos será posible realizar el monitoreo más preciso y exacto de diversas variables; tales como, el torque y la velocidad. Todas las variables son utilizadas para poder diagnosticar posibles inconvenientes y realizar mantenimientos preventivos en los equipos, evitando daños severos y paradas indefinidas que afectarían la producción de vapor, generación de energía eléctrica y la elaboración de azúcar.

4. Mejoras en el ambiente de trabajo

La electrificación de los accionamientos de molinos creará un ambiente de trabajo más seguro y con menos contaminación de ruido, aceite y calor; problemas propios de las turbinas de vapor; también, se crea un ambiente de trabajo más saludable y menos peligroso. Se ha dado casos de plantas, donde ocurrieron problemas de admisión de vapor de las turbinas debidos a problemas de contaminación de ruido, aceite y calor ocasionado por las mismas turbinas.

3.5 PARAMETROS DE ENTRADA DE LA PLANTA ACTUALMENTE

Para poder obtener un correcto nuevo diagnóstico de la planta y eficiente selección de nueva maquinaria, se debe tener disponibles todos los parámetros o datos de entrada de la planta; en nuestro caso, nuevos parámetros de entradas que supondremos para poder proyectar las condiciones de la planta en nuevas condiciones de trabajo con nuevos accionamiento de molinos y accesorios. En las siguientes tablas a continuación, se presentarán todos los datos mencionados, categorizados según el área donde estén instaladas y como fueron medidas.

1. Datos generales de nuevo consumo específico de energía eléctrica de la planta

Utilizando el nuevo consumo específico de energía eléctrica para ingenios electrificados podemos calcular la cantidad de energía que la planta necesita para poder operar efectivamente. (Silva Lora, 2010)

En esta parte del proyecto se presentaran todos los datos relevantes para poder calcular la nueva necesidad energética para los siguientes dos situaciones:

- i. Nueva necesidad energética sin cambio de accionamiento de molinos, pero con aumento de flujo de procesamiento de caña.
- ii. Nueva necesidad energética sin cambio de accionamiento de molinos; además, con aumento de flujo de procesamiento de caña.

Tabla 3.1: Nuevo datos de la planta

Datos de entrada	
Aumento de flujo	50,00 %
Consumo específico de energía eléctrica (no electrificado)	20 kW-h/T
Consumo específico de energía eléctrica (electrificado)	30 kW-h/T
Porcentaje de consumo energético dirigido hacia los campos de caña	25,00 %

Nota. Fuente: Elaboración propia, 2014.

2. Accionamiento de molinos, nueva potencia requerida

La potencia de los accionamientos de molinos es un dato muy importante para poder obtener una correcta selección de dichos accionamientos. Se necesitan diversos datos de entrada para poder obtener un correcto cálculo de nueva potencia, dichos datos se muestran en las tablas 2.12 – 2.16.

3. Posible ahorro de consumo de vapor

El ahorro de consumo de vapor es la diferencia de flujo de vapor que es necesario utilizada para generar la potencia suficiente para operar los molinos utilizando turbinas de vapor y motores eléctricos. Tomando en cuenta que en el caso de las turbinas de vapor, el vapor se envía directamente; y en el caso de los motores eléctricos, el vapor es enviado para generar energía, el cual será enviado al motor. Los datos relevantes para poder calcular este ahorro se muestran a continuación:

Tabla 3.2: Información relevante para comparación de ahorro

Datos de entrada	
Flujo actual de caña	200 T/h
Potencia real requerida por los molinos para un flujo de caña de 200T/h	≈0,48 MW
Nuevo flujo de caña	300 T/h

Nota. Fuente: Elaboración propia, 2014.

4. Datos generales de nuevo consumo específico de vapor de baja presión

Las condiciones para poder obtener el nuevo consumo específico de vapor de baja presión de un ingenio se presentaran a continuación, considerando el condensado.

Tabla 3.3: Datos de vapor de baja presión (nuevo)

Datos de entrada	
Flujo de caña	300 T/h
Consumo específico de vapor de baja presión	0,55 T _{vaporbaja} /Tcaña

Nota. Fuente: Elaboración propia, 2014.

5. Calderas

Las calderas son las encargadas de la generación de vapor; sin embargo, esta planta utiliza bagazo como combustible no convencional. Se definirá como primer dato, la relación de dicho bagazo con la caña procesada y los datos necesarios para poder determinar la producción total de vapor de calderas. (Silva Lora, 2010)

Tabla 3.4: Calderas, nuevo consumo de bagazo

N° de Caldera	Calderas 1, 2, 4, 5 y 6
Flujo total de caña	200 T/h
Relación bagazo/caña	0,30 Tbagazo/Tcaña
Nueva Porcentaje de reserva	5,00 %

Nota. Fuente: Elaboración propia, 2014.

3.6 NUEVA NECESIDAD ENERGETICA DE LA PLANTA

Tomando en cuenta un supuesto futuro aumento de flujo de procesamiento de caña de azúcar de 50%, se pueden plantear unos nuevos datos de entrada de la planta. A continuación, se planteará la nueva necesidad energética de la planta, tomando en cuenta 2 condiciones: sin cambio de accionamiento de molinos y con aumento de flujo de procesamiento; y con cambio de accionamiento de molinos y aumento de flujo de procesamiento. Se verificará si la planta está en capacidad de abastecer energéticamente el nuevo flujo. Los resultados se representaran a continuación:

1. Sin cambio de accionamiento de molinos, aumento de flujo de procesamiento:

Utilizando los datos de entrada que se muestra en la tabla 3.1 junto con las ecuaciones 1.4 y 1.5, podemos obtener la nueva necesidad energética y el nuevo consumo total de energía de planta. Dichos resultados se muestran en la tabla 3.5.

Tabla 3.5: Nueva necesidad energética de la fabrica

Datos de salida	
Nueva necesidad energética	6 MW
Nuevo consumo de campos	1,5 MW
Nuevo consumo total de energía	7,5 MW
Producción de energía total	6,45 MW

Nota. Fuente: Elaboración propia, 2014.

Adicionalmente, existe un consumo pequeño de energía para otros establecimientos. Con los resultados obtenidos de necesidad energética bajo nuevas condiciones, podemos concluir que la planta no podría abastecer la nueva necesidad energética, solo produce 6,45 MW.

2. Con cambio de accionamiento de molinos y aumento de flujo.

Utilizando los datos de entrada que se muestra en la tabla 3.1 junto con las ecuaciones 1.4 y 1.5, se obtiene la nueva necesidad energética y el nuevo consumo total de energía de la planta. Dichos resultados se muestran en la tabla 3.6.

Tabla 3.6: Nueva necesidad energética de la fábrica (2)

Datos de salida	
Nueva necesidad energética	9 MW
Nuevo consumo de campos	2,25 MW
Nuevo consumo total de energía	11,25 MW
Producción de energía total	6,45 MW

Nota. Fuente: Elaboración propia, 2014.

Tomando en cuenta un pequeño consumo de energía para otros establecimientos; nuevamente, obtenemos que la planta no pudiera abastecer la nueva necesidad. Sin embargo, si se integra un nuevo turbogenerador de 6 MW de producción de energía medida, la necesidad energética planta electrificada puede ser abastecida.

Tabla 3.7: Nueva necesidad energética de la fábrica (3)

Datos de salida	
Nuevo consumo total de energía	11,25 MW
Porcentaje para otros establecimientos	8,00 %
Nuevo consumo real de energía	12,15 MW
Producción de energía total	6,45 MW
Producción de un nuevo turbo.	6 MW
Producción de energía total	12,45 MW

Nota. Fuente: Elaboración propia, 2014.

La instalación de 5 motores eléctricos con variador de frecuencia junto con la instalación de un turbogenerador adicional de 6 MW (se dará por desarrollado, ya que no es el objetivo de la tesis presente) darán lugar a un buen abastecimiento de energía eléctrica para la nueva necesidad energética tras el aumento de procesamiento de caña en un 50% propuesto en el proyecto.

3.7 ANÁLISIS DE LA NUEVA POTENCIA DE ACCIONAMIENTO DE MOLINO

El primer paso para poder seleccionar correctamente un accionamiento de molinos, es obtener la cantidad de potencia que este debe otorgar al molino. Utilizando los datos de entrada, presentadas en el capítulo 2, de maza y los datos presentados en la tabla 3.2 y 3.8, de nuevas condiciones, junto con las ecuaciones 1.13-1.22, podemos obtener todas las variables necesarias para el cálculo de la nueva potencia consumida por molino.

Tabla 3.8: Nueva potencia total consumida por un molino

Datos de salida	
Rendimiento de engranes	74,00 %
Presión hidráulica total aplicada	398,20 T
Carga fibrosa específica de molino	18,19 kg/m ² /m
Densidad del bagazo comprimido el en plano axial de los cilindros de salida	1136,84 kg/m ³
Fibra de bagazo con relación a la unidad	0,26 %fibra/%jugoyfibra
Potencia total consumida por un molino	674,62 HP

Nota. Fuente: Elaboración propia, 2014.

Adicionalmente, se considera un porcentaje adicional considerando sobrecargas y resbalamientos; con las cuales obtenemos la nueva potencia total necesaria. La tabla 3.9 muestra los nuevos resultados finales obtenidos, utilizando ecuación 1.23.

Tabla 3.9: Nueva potencia total necesaria para un molino

Datos de salida	
Potencia total consumida por un molino	674,62 HP
Porcentaje adicional de potencia para sobrecargas y resbalamientos	40,00 %
Potencia total necesaria para un molino (HP)	910,74 HP
Potencia total necesaria para un molino (kW)	679,41 kW

Nota. Fuente: Elaboración propia, 2014.

Según este resultado, se puede concluir que la mínima potencia de molinos, para poder abastecer un nuevo flujo de procesamiento, es de 910,74 HP. Comúnmente, se tiene que seleccionar un motor con esta potencia de trabajo o la más cercana superior. Entonces, podemos tener como solución de selección, motores eléctricos con variador de frecuencia con potencia de trabajo de 1000 HP.

3.8 AHORRO DE CONSUMO DE VAPOR

Para poder obtener el ahorro de consumo de vapor, se debe comparar el consumo de vapor actual con el nuevo consumo virtual que se tendrá si se cambiara los accionamientos de molinos, con un mismo nivel de flujo de caña en ambos casos. Según esta comparación se puede llegar a la conclusión si el cambio nos da un ahorro o no, lo cual es uno de los objetivos que se busca en este proyecto.

En la tabla 3.10, presentaremos datos importantes para poder realizar la comparación explicada previamente.

Tabla 3.10: Información importante para comparación de ahorro

Datos de entrada	
Flujo actual de caña	200 T/h
Potencia real requerida por los molinos para un flujo de caña de 200T/h	≈0,48 MW
Nuevo flujo de caña	300 T/h
Potencia que se desea generar para su utilización en motores eléctricos (HP)	1000 HP
Potencia que se desea generar para su utilización en motores eléctricos (MW)	0,75 MW

Nota. Fuente: Elaboración propia, 2014.

Se determinará el consumo de vapor promedio actual que se tiene en las turbinas de molienda; y el consumo de los turbogeneradores para poder generar energía que será enviada a los motores, objetivo de generar potencia según flujo de 200T/h.

Tabla 3.11: Consumo de vapor promedio

Datos de salida	
Flujo de caña	200 T/h
Consumo de vapor promedio actual de una turbina mecánica de molienda	6,64 T/h
Potencia real requerida por los molinos para un flujo de caña de 200T/h	≈0,48 MW
Nuevo consumo de vapor promedio de un turbogenerador (200T/h)	6,24 T/h
Ahorro total de flujo de vapor	2,00 T/h

Nota. Fuente: Elaboración propia, 2014.

La tabla 3.11, muestra los resultados obtenidos tras la utilización de los datos de las tablas 2.5, 2.10 y 3.10; junto con la ecuación 1.3. Se presenta el consumo de vapor actual promedio de las turbinas mecánicas de la etapa de extracción, asumiendo que son 5; y un consumo de vapor promedio de los turbogeneradores para que estos puedan generar la energía suficiente que un motor eléctrico necesite.

Según la potencia calculada para un flujo de 200 T/h, asumiendo 5 motores. Se puede notar que la diferencia de consumo de vapor por turbina/motor es de 0,4 T/h, pero como son 5 turbinas/motores, el ahorro total de flujo de vapor sería de 2 T/h.

3.9 INCREMENTO DEL VAPOR PARA GENERACIÓN ELÉCTRICA

Para poder obtener el incremento necesario de vapor de alta presión para nuevas condiciones; primero, se debe calcular el nuevo consumo de vapor de los turbogeneradores para un flujo de caña de 300 T/h. Como ya se explicó anteriormente, la planta, en nuevas condiciones, no está en capacidad de abastecer la nueva necesidad de energía eléctrica (accionamiento de molino electrificado), entonces, se debe integrar un nuevo turbogenerador de 6 MW de producción de energía medida. En la tabla 3.12, se mostrará los datos necesarios para el cálculo.

Tabla 3.12: Nuevo turbogenerador

Datos de entrada	
Potencia de trabajo	6 MW
Etapa	1
Consumo específico de vapor	11,22 T/MW.h
Consumo total de vapor	67,32 T/h

Nota. Fuente: Elaboración propia, 2014.

Con el proyecto de electrificación de accionamiento de molinos, se anula el despacho de vapor de alta presión hacia esta sección de la planta, este vapor es enviado en su totalidad para la generación de electricidad. En la tabla 3.13, se observa cómo queda definida la distribución de flujo de vapor, con electrificación, para los turbogeneradores.

Tabla 3.13: Nueva distribución de vapor de turbogeneradores

Turbogenerador	Turbogenerador 1	Turbogenerador 2	Turbogenerador 3		Nuevo Turbogenerador
Potencia medida	1594,71 kW	1544,83 kW	3313,13 kW		6000 kW
Etapa	1	1	1	2	1
Consumo Específico de Vapor por etapa	13,02 T/MW.h	13,05 T/MW.h	13,57 T/MW.h	7,132 T/MW.h	11,22 T/MW.h
Consumo total de vapor	20,76 T/h	20,16 T/h	42,82 T/h		67,32 T/h

Nota. Fuente: Elaboración propia, 2014.

Ahora que tenemos la distribución de vapor dirigido hacia los turbogeneradores, definimos las siguientes situaciones:

1. Dirigir el flujo de vapor destinado a los molinos a los 3 turbogeneradores actuales ya instalados en la planta.

Utilizando la información de los 3 turbogeneradores actuales, podemos determinar la cantidad de flujo de vapor que estos necesitan para poder otorgar la energía suficiente a cada uno de los 5 motores eléctricos de 0,75 MW.

Tabla 3.14: Consumo de vapor dirigido hacia los molinos (1)

Datos de salida	
Flujo de caña	300 T/h
Potencia que se desea generar para su utilización en cada motor eléctrico	0,75 MW
Nuevo consumo de vapor promedio de un turbogenerador (300T/h)	9,75 T/h
Consumo total de vapor dirigido hacia los 5 motores eléctricos	48,75 T/h

Nota. Fuente: Elaboración propia, 2014.

2. Dirigir el flujo de vapor destinado a los molinos al nuevo turbogenerador.

Utilizando la información del nuevo supuesto turbogenerador, se puede determinar la cantidad de flujo de vapor de alta presión que este necesite para poder otorgar la energía suficiente a cada uno de los 5 motores eléctricos de 0,75 MW.

Tabla 3.15: Consumo de vapor dirigido hacia los molinos (2)

Datos de salida	
Flujo de caña	300 T/h
Potencia que se desea generar para su utilización en cada motor eléctrico	0,75 MW
Consumo específico de vapor	11,22 T/MW.h
Nuevo consumo de vapor promedio del nuevo turbogenerador (300T/h)	8,42 T/h
Consumo total de vapor dirigido hacia los 5 motores eléctricos	42,10 T/h

Nota. Fuente: Elaboración propia, 2014.

Podemos concluir que todo el flujo de vapor de alta presión es mandado a los turbogeneradores (contabilizando el nuevo turbogenerador de 6MW), y un porcentaje de la producción de energía eléctrica es dirigida hacia los motores eléctricos, un total de 8,42 T/h por motor, se instala 5 motores.

3.10 NUEVA NECESIDAD DE VAPOR DE BAJA PRESION DE LA FÁBRICA

Se le denomina necesidad de vapor de baja presión a la mínima cantidad o flujo de vapor de baja presión que los diversos procesos en las áreas de una planta azucarera necesitan para poder abastecer su mínima necesidad. Utilizando los datos de entrada que se muestra en la tabla 3.3 y 3.13 junto con la ecuación 1.6, podemos obtener la necesidad de vapor de baja presión requerido por las áreas de procesamiento de azúcar, dichos resultados se muestran en la tabla 3.16.

Tabla 3.16: Nueva necesidad de vapor de baja presión

Datos de salida	
Flujo de caña	300 T/h
Necesidad de vapor de baja presión	165 T _{vaporbaja} /h
Consumo total de vapor de la planta	151,06 T _{vaporalta} /h

Nota. Fuente: Elaboración propia, 2014.

Finalmente, se compara la necesidad de vapor de baja presión con la producción de vapor de baja presión, la cual, normalmente, es igual al consumo de vapor de alta, para poder verificar si la planta es capaz de abastecer su necesidad. Sin embargo, la planta analizada tiene una turbina de condensación, la cual extrae un porcentaje del vapor de alta al condensador y es extraída como agua condensada. Utilizando las tablas 2.3 y 2.5 junto con la ecuación 1.7 podemos obtener la producción de vapor de baja presión.

Tabla 3.17: Producción de vapor de baja presión

Datos de salida	
Consumo total de vapor de la planta	151,06 T _{vaporalta} /h
Porcentaje de flujo de condensación	10,00 %
Flujo de vapor de condensación	2,36 T/h
Producción de vapor de baja presión	148,7 T _{vaporbaja} /h

Nota. Fuente: Elaboración propia, 2014.

Entonces, nuestros turbogeneradores consumen 151,06 T/h de vapor de alta, y producen 148,7 T/h de vapor de baja. Sin embargo, este vapor de baja presión no es suficiente para poder abastecer la nueva necesidad de la fábrica; entonces, la falta de vapor debe ser pasado por la válvula reductora de presión. El flujo de vapor dirigido hacia la válvula reductora se presenta en la tabla 3.18, dicho cálculo es realizado con los datos de las tablas 3.16 y 3.17.

Tabla 3.18: Excedente de vapor mandado por la válvula

Datos de salida	
Producción de vapor de baja presión	148,7 T _{vaporbaja} /h
Necesidad de vapor de baja presión	165 T _{vaporbaja} /h
Excedente de vapor mandado por la válvula reductora	16,3 T _{vaporbaja} /h

Nota. Fuente: Elaboración propia, 2014.

Por último, se debe verificar si la planta es capaz de generar, en sus calderas, la cantidad de vapor que se necesita. En el caso de que la generación de vapor actual no sea suficiente, se debe aumentar el flujo de vapor considerando la máxima capacidad de generación de vapor de las calderas y, si es posible, llegar a la necesidad de vapor sin tener que pensar en instalar otro caldero. En el caso de que se tenga que plantear la opción de instalar un nuevo caldero: se debe plantear una posible solución; sin embargo, no se plantea un análisis exhaustivo por no ser parte del proyecto inicial.

En la tabla 3.19, se presenta la capacidad máxima actual de las calderas de la planta analizada, se comparara con la necesidad de vapor de alta/baja presión que requiere la planta en nuevas condiciones. Y se plantea las nuevas condiciones de trabajo que deben tener las calderas para abastecer las nuevas condiciones sin tener extra producción de vapor. Además, se determinara si es necesario un nuevo caldero, en caso que los actuales no abastezcan la nueva necesidad.

Tabla 3.19: Condiciones de trabajo de las calderas

Datos de salida	
Producción actual de vapor	≈120 T/h
Producción máxima de vapor que pueden llegar a tener las calderas	≈208 T/h
Necesidad de vapor de baja presión	165 T _{vaporbaja} /h
Flujo de vapor de condensación	2,36 T/h
Flujo mínimo de vapor de alta que se necesita producir en las calderas	167,36 T/h
Producción de vapor escogido para las nuevas condiciones	<u>170 T/h</u>
Eficiencia de trabajo de las calderas respecto de su producción máxima	≈82%
Verificación de rango de producción	SI

Nota. Fuente: Elaboración propia, 2014.

Se concluye que las calderas deben aumentar su flujo de vapor hasta 170 T/h, 82% de su producción máxima según se presenta en la tabla 2.33, para poder abastecer el flujo mínimo de vapor de baja, sin la instalación de otro caldero.

Se puede notar que la producción de vapor escogido para las nuevas condiciones (170T/h) tiene un porcentaje de excedente, este excedente es destinado para posibles maquinas auxiliares (turbinas), se le asignara un máximo de flujo de 2 T/h de vapor. Esto da resultado a tener por lo menos 2 T/h de vapor de baja presión.

Además, se determina si la cantidad de bagazo (flujo de bagazo) es suficiente para poder ser usada como combustible en calderas, para obtener 170 T/h de vapor de alta. Utilizando las tablas 2.9 - 2.11, 2.25 y 3.4, junto con las ecuaciones 1.9 – 1.11, se determinara dicho flujo, la siguiente tabla presenta los resultados:

Tabla 3.20: Calderas, nuevo flujo real de bagazo

N° de Caldera	Calderas 1, 2, 4, 5 y 6
Flujo de caña	300 T/h
Relación bagazo/caña	0,30 Tbagazo/Tcaña
Porcentaje de reserva	5%
Flujo de bagazo	90 Tbagazo/h
Reserva de bagazo	4,5 Tbagazo/h
Flujo real de bagazo	85,5 Tbagazo/h

Nota. Fuente: Elaboración propia, 2014.

Finalmente, conocidos el flujo real de bagazo hacia las calderas y el consumo específico de bagazo, se puede calcular el flujo de vapor que se pudiese generar en calderas utilizando la ecuación 1.12, el resultado final se muestra en la tabla 3.21.

Tabla 3.21: Vapor producido por las calderas

N° de Caldera	Calderas 1, 2, 4, 5 y 6
Flujo real de bagazo total	85,5 Tbagazo/h
Vapor total producido que puede ser producido	≈189 Tvapor/h
Consumo total de vapor requerido en nuevas condiciones de trabajo	≈170 Tvapor/h

Nota. Fuente: Elaboración propia, 2014.

Se puede notar que la cantidad de vapor generado que puede ser producido con el nuevo flujo de bagazo es suficiente y mayor al consumo total de vapor que se requiere para las nuevas condiciones de vapor, 170 T/h.

Como el flujo de bagazo requerido en nuevas condiciones es menor que el que puede ser producido, se decide solo utilizar la cantidad necesaria de bagazo y el excedente depositarlo en los campos de almacenamiento el bagazo. En la tabla 3.22, se presenta el nuevo porcentaje de bagazo de reserva que se tiene.

Tabla 3.22: Bagazo de reserva

Datos de salida	
Nuevo consumo de vapor	≈170 T _{vapor} /h
Nuevo porcentaje de reserva	15%
Reserva de bagazo	13,5 T _{bagazo} /h
Flujo real de bagazo	76,5 T _{bagazo} /h

Nota. Fuente: Elaboración propia, 2014.

Para poder tener un mejor entendiendo y distribución de vapor de alta; en la tabla 3.23, se presenta la cantidad de bagazo que es dirigido hacia cada una de las calderas junto con la producción de vapor de cada una de. Dicho vapor es dirigido hacia un colector de vapor, para posteriormente ser distribuido a las diversas áreas.

Tabla 3.23: Bagazo y producción de vapor por Caldera en nuevas condiciones

N° de caldera	Caldera 1	Caldera 2	Caldera 4	Caldera 5	Caldera 6	Total
Economizador	No	Si	no	Si	No	-
Flujo real de bagazo	12 T/h	11 T/h	12 T/h	11 T/h	30,5 T/h	≈ 76,5 T/h
CSB [kg(vapor)/kg(bagazo)]	2,15	2,30	2,15	2,31	2,15	-
Vapor producido	≈ 26 T/h	≈ 26 T/h	≈ 26 T/h	≈ 26 T/h	≈ 66 T/h	≈ 170 T/h

Nota. Fuente: Elaboración propia, 2014.

Finalmente, tomar en cuenta que el excedente de vapor de baja presión mandado por la válvula reductora puede ser mandado a los turbogeneradores para una generación extra de energía eléctrica hasta alcanzar una máxima producción de energía según las condiciones de operación de los turbogeneradores. Además, se tiene un máximo aprovechamiento del excedente de bagazo generado (el cual es mayor que flujo inicial de bagazo). Sin embargo, en este proyecto no se analizará esta opción; pero, es una solución de proyecto viable para las condiciones que se llegará con el cambio de accionamiento de molino.

3.11 NUEVA DISPOSICION DE LA PLANTA

La figura N° 3.2 representa un diagrama de bloques general del proceso de producción de azúcar del ingenio analizado tras el futuro cambio del accionamiento de molinos a motores eléctricos con variador de frecuencia. La nueva distribución quedó de la siguiente manera: 100% del vapor de alta presión es enviado a la planta de fuerza; ≈30% de la energía eléctrica es enviada a molienda; y ≈70% restante a toda la fábrica.

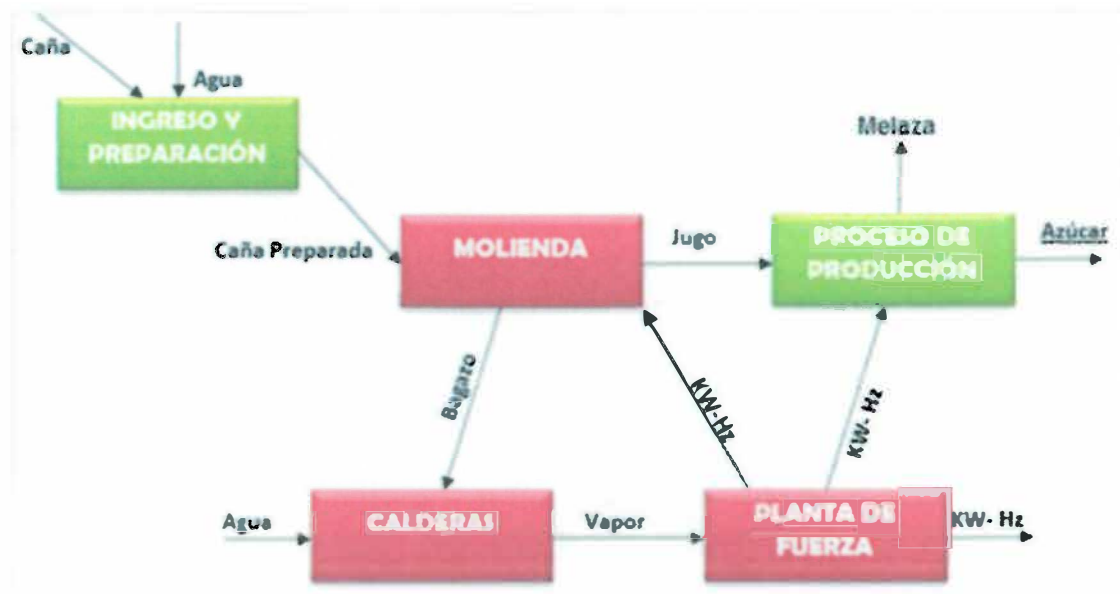


Figura N° 14: Diagrama de bloques del proceso de producción de azúcar
Fuente: Elaboración Propia, 2014

En la tabla 3.24, se presenta la cantidad vapor dirigida hacia lo planta de fuerza (tomando en cuenta el nuevo turbogenerador), auxiliares y válvula reductora.

Tabla 3.24: Nuevos porcentajes de flujos por área de la planta

Área	Turbogeneradores	Nuevo Turbogenerador	Turbinas Auxiliares	Válvula Reductora	Planta	
					Motores Eléctricos	Elaboración de azúcar
Consumo de Vapor	83,74 T/h	67,32 T/h	2 T/h	16,3 T/h	169,36 T/h	
Porcentajes por área (1)	49,45 %	39,75 %	1,18 %	9,62 %	100,00 %	
Producción de vapor de baja presión	81,38 T/h	67,32 T/h	2 T/h	16,3 T/h*	167 T/h	
Producción de energía necesaria	6452,67 kW	6000 kW	-	-	12452,67 kW	
Porcentajes por área (2)	-	-	-	-	8702,67 kW	3750 kW
					69,89 %	30,11 %

*No es un consumo/producción de vapor, solo se dirige esta cantidad a dicha área

Nota. Fuente: Elaboración propia, 2014.

3.11 NUEVA DISPOSICION DE LA PLANTA

La figura N° 3.2 representa un diagrama de bloques general del proceso de producción de azúcar del ingenio analizado tras el futuro cambio del accionamiento de molinos a motores eléctricos con variador de frecuencia. La nueva distribución quedo de la siguiente manera: 100% del vapor de alta presión es enviado a la planta de fuerza; ≈30% de la energía eléctrica es enviada a molienda; y ≈70% restante a toda la fábrica.

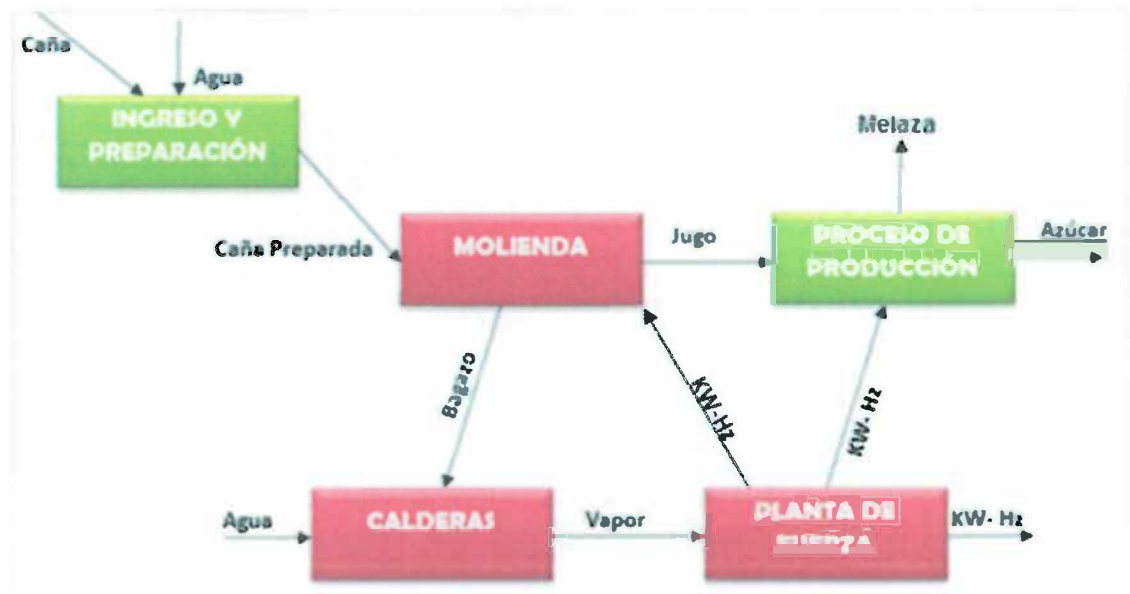


Figura N° 14: Diagrama de bloques del proceso de producción de azúcar
Fuente: Elaboración Propia, 2014

En la tabla 3.24, se presenta la cantidad vapor dirigida hacia lo planta de fuerza (tomando en cuenta el nuevo turbogenerador), auxiliares y válvula reductora.

Tabla 3.24: Nuevos porcentajes de flujos por área de la planta

Área	Turbogeneradores	Nuevo Turbogenerador	Turbinas Auxiliares	Válvula Reductora	Planta	
					Motores Eléctricos	Elaboración de azúcar
Consumo de Vapor	83,74 T/h	67,32 T/h	2 T/h	16,3 T/h	169,36 T/h	
Porcentajes por área (1)	49,45 %	39,75 %	1,18 %	9,62 %	100,00 %	
Producción de vapor de baja presión	81,38 T/h	67,32 T/h	2 T/h	16,3 T/h*	167 T/h	
Producción de energía necesaria	6452,67 kW	6000 kW	-	-	12452,67 kW	
Porcentajes por área (2)	-	-	-	-	8702,67 kW	3750 kW
					69,89 %	30,11 %

*No es un consumo/producción de vapor, solo se dirige esta cantidad a dicha área

Nota. Fuente: Elaboración propia, 2014.

El vapor generado por las calderas es distribuido de la siguiente manera: el 100% es dirigido a un colector de vapor de alta presión, el cual distribuye este vapor hacia los actuales turbogeneradores (83,74 T/h), nuevo turbogenerador (67,32 T/h), turbinas auxiliares (2 T/h); y válvula reductora (16,3 T/h), tal como se indica en la figura N° 3.2.

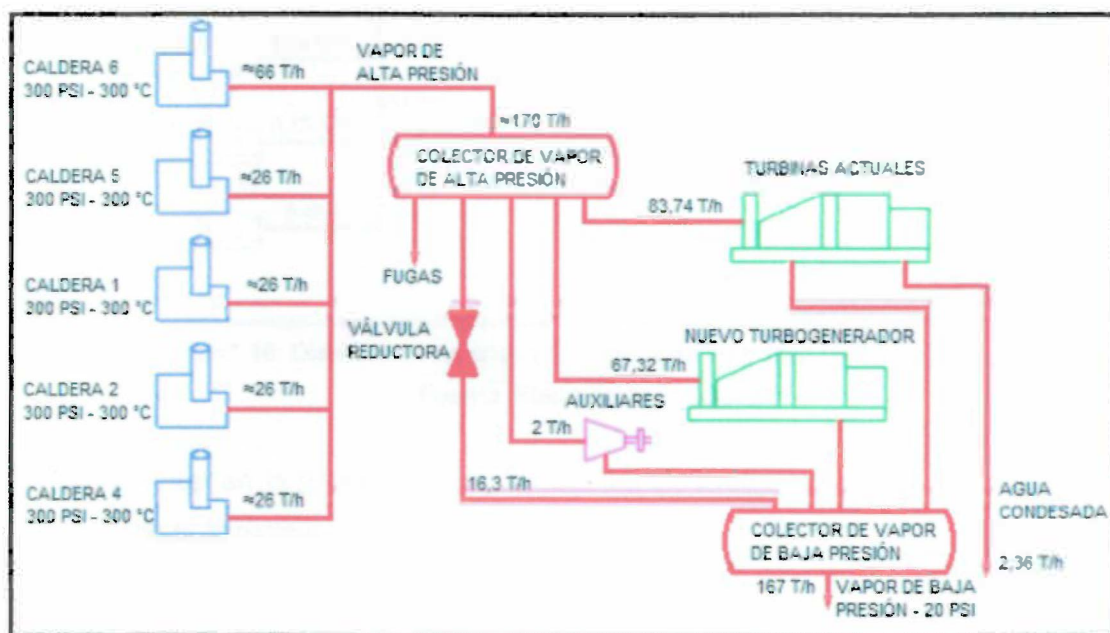


Figura N° 15: Distribución de vapor con electrificación de los molinos

Fuente: Elaboración Propia, 2014

De la figura N° 3.3, se verifica que se obtiene 167 T/h de vapor de baja presión, vapor de escape, a una presión manométrica aproximada de 20 psi, este vapor es usado para el proceso de elaboración de azúcar en la planta; además, se obtiene 2,36 T/h de agua condensada, la cual es juntada con el agua condensada del proceso de elaboración; y es mandada a pozos de agua para, posteriormente, ser recirculada de vuelta, a través de bombas, a las calderas para la producción de vapor. Adicionalmente, se debe pasar 16,3 T/h de vapor de baja presión por la válvula reductora para poder abastecer la necesidad de la planta en las nuevas condiciones.

Por otro lado, el proyecto plantea una nueva distribución de energía eléctrica generada por los turbogeneradores de la planta, tal como se plantea en la tabla 3.20. Tras la realización de la electrificación de molinos, se permite incrementar la generación eléctrica hasta 12,45 MW, el cual es aproximadamente la carga total de la planta. Tomando en cuenta de que existe un excedente de 16,3 T/h de vapor de alta presión que es mandada a la válvula reductora de presión.

En la figura N° 3.4, se ilustra la generación y nueva distribución de energía eléctrica horaria de todos los turbogeneradores con electrificación de molinos.

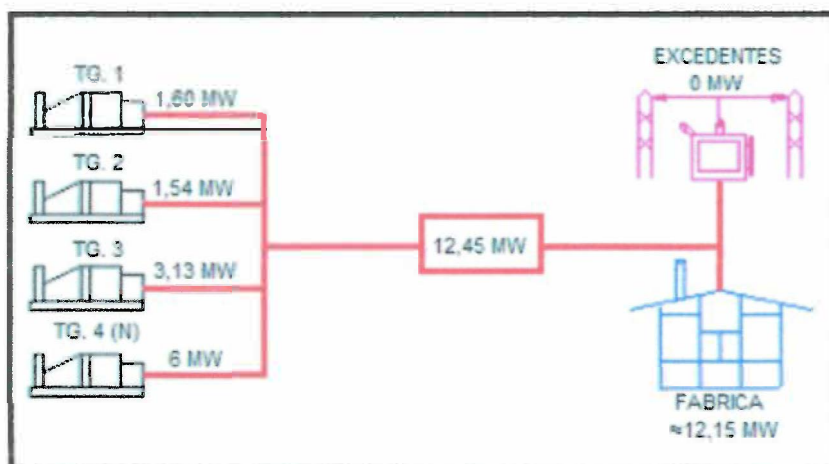


Figura N° 16: Distribución de energía eléctrica de los turbogeneradores

Fuente: Elaboración Propia, 2014

Se puede notar en la figura que toda la energía generada es utilizada solamente para abastecer la necesidad de la fábrica, la cual es de 12,15 MW.

Finalmente, como se mencionó anteriormente, existe una solución de proyecto de cogeneración de energía, al cual se le tiene que hacer mayor análisis; sin embargo, aumentando a un turbogenerador 10 MW; aumentando la capacidad de los turbogeneradores en su máximo posible; y con el flujo de vapor de 170 T/h, se podría obtener casi 5 MW de excedentes, un rápido análisis se ve la figura N° 3.5.

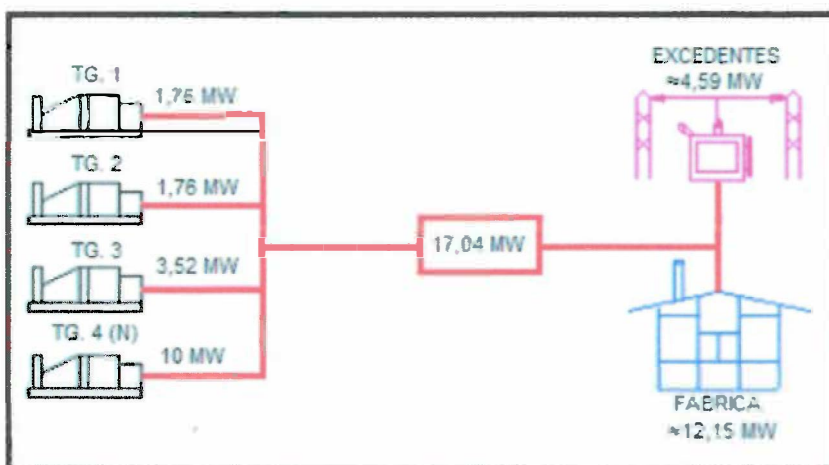


Figura N° 17: Posible distribución de energía eléctrica de cogeneración

Fuente: Elaboración Propia, 2014

3.12 SELECCIÓN DE NUEVO ACCIONAMIENTO DE MOLINO

Según los cálculos y consideraciones presentadas a lo largo de este capítulo, se llegó a la conclusión que se debe comprar 5 motores eléctricos con variador de frecuencia, los cuales reemplazar 3 turbinas de vapor en el área de extracción.

Analizando diversas opciones y propuestas técnicas de diferentes empresas que venden motores eléctricos, se llegó a selección un motor eléctrico, el cual es la propuesta de compra que sugiere el proyecto.

-Motor HGF, TEFC, FRAME 8006, 1200 HP – 2300 V – 6 Polos – Montaje F1, FS.100, NEMA, el cual se muestra en la figura 3.6



Figura N° 18: Motor eléctrico, con variador de frecuencia, seleccionado
Fuente: Cybersteel Corporation, 2014

Las características de dicho motor se muestran en la tabla 3.25; y en el ANEXO 6, se muestra la maquinaria y accesorios adicionales que el motor debe tener para poder operar y ser instalada correctamente (Reductor, variador, acople).

Tabla 3.25: Característica del motor eléctrico

Potencia (HP)	1200
Voltaje (VAC)	2300
Frecuencia (Hz)	60
Numero de polos	6
Elevación de temperatura (°C)	80
Factor de servicio	1
Refrigeración	AUTOVENTILADO (IC 411)
Método de arranque	VARIADOR DE VELOCIDAD
Acople	DIRECTO
Temperatura ambiente (°C)	40
Norma	NEMA
Sentido de rotación	BIDIRECCIONAL

Nota. Fuente: Cybersteel Corporation, 2014.

Acotamos que el reductor reduce la potencia transmitida hasta ≈ 1000 HP. Adicional, se debe seleccionar un caldero, sus datos se exponen en el ANEXO 6.

3.13 NUEVA DISPOSICION DE TUBERIAS DE VAPOR Y AISLAMIENTO

Para la instalación de motores eléctricos, se debe suprimir las tuberías dirigidas a las turbinas de vapor de molienda; ya que, ahora todo el vapor será enviado a los turbogeneradores para la generación de energía eléctrica.

Por otro lado, se encargará de reparar, completar o reemplazar aislamiento de las tuberías presentadas en el ANEXO 4. Tomar en cuenta que en algunas partes del recorrido de tuberías no será posible colocar aislamiento por su difícil acceso. En la tabla 3.26, se presentan los nuevos porcentajes de colocación de aislamiento de las tuberías que se propone en el presente proyecto, tratando de maximizar el recorrido de las tuberías; así, se evita en lo máximo posible la pérdida de calor.

Tabla 3.26: Eficiencia de aislamiento de nueva distribución de tuberías de vapor

ITEMS	DESCRIPCION	LONGITUD (m)	ESTADO DE AISLAMIENTO	LONGITUD AISLADA (m)
TUBERIA SALIDA DE CALDEROS				
5	CALDERO N°1	30700	95 %	29165
7	CALDERO N°2	23190	95 %	22030,5
2	CALDERO N°4	15730	95 %	14943,5
9	CALDERO N°5	43910	95 %	41714,5
3	CALDERO N°6	70770	95 %	67231,5
TUBERIA DE ESCAPE				
	TURBINAS PLANTA ELECTRICA	57170	100 %	57170
TUBERIA INGRESO				
1	FABRICA	10000	92 %	9200
8	TURBINAS PLANTA ELECTRICA	43300	100 %	43300
4	TURBINAS AGUA ALIMENTACION	50050	100 %	50050
5	COLECTOR	5105	100 %	5105
	SUB-TOTAL	349925	SUB-TOTAL	339910
			EFICIENCIA	97,15 %

Nota. Fuente: Elaboración propia, 2014.

Considerando el estado de aislamiento como un porcentaje de aislante en buen estado o en correcto funcionamiento. Entonces, se puede considerar una eficiencia global de todas las tuberías de vapor, el cual es 97,15 %. Finalmente, se puede llegar a la conclusión que existe un aumento de eficiencia de utilización de tuberías, comparado con las tuberías antes de la mejora técnica, de aproximadamente 14%

3.14 NUEVA CAPACIDAD DE MAQUINARIA

En la siguiente tabla 3.27, se muestra las condiciones de operación nominal y nuevas condiciones de trabajo, tras el cambio de accionamiento de molinos.

Tabla 3.27: Nueva capacidad de maquinaria de la planta

Equipos	Unidades de producción	Condiciones Nominales	Condiciones de trabajo
Caldera #1	Tvapor/h	40	26
Caldera #2	Tvapor/h	40	26
Caldera #4	Tvapor/h	40	26
Caldera #5	Tvapor/h	40	26
Caldera #6	Tvapor/h	100	66
Turbogenerador #1	kW	2,2	1,6
Turbogenerador #2	kW	2,2	1,5
Turbogenerador #3	kW	4,4	3,3
Turbogenerador #4	kW	6	6
Motor eléctrico #1	HP	1000	1000
Motor eléctrico #2	HP	1000	1000
Motor eléctrico #3	HP	1000	1000
Motor eléctrico #4	HP	1000	1000
Motor eléctrico #5	HP	1000	1000

Nota. Fuente: Elaboración propia, 2014.

3.15 NUEVA EFICIENCIA DE OPERACIÓN DE LA PLANTA

Para poder tener una nueva eficiencia aproximada de operación de planta; se debe calcularse la eficiencia de operación o trabaja de cada una de las maquinarias.

Tabla 3.28: Nueva eficiencia de operación de maquinaria

Equipos	Unidades de producción	Condiciones Nominales	Condiciones de trabajo	Eficiencia de operación
Caldera #1	Tvapor/h	40	26	65 %
Caldera #2	Tvapor/h	40	26	65 %
Caldera #4	Tvapor/h	40	26	65 %
Caldera #5	Tvapor/h	40	26	65 %
Caldera #6	Tvapor/h	100	66	66 %
Turbogenerador #1	kW	2,2	1,6	72,72 %
Turbogenerador #2	kW	2,2	1,5	68,18 %
Turbogenerador #3	kW	4,4	3,3	75%
Turbogenerador #4	kW	6	6	100 %
Motores eléctricos #1-#5	HP	1000	1000	100 %
Aislamiento de tuberías	%	-	-	97,15 %*
Eficiencia promedio aproximada de la planta				75,94 %

*Calculado previamente

Nota. Fuente: Elaboración propia, 2014.

Referencias Bibliográfica

- [3.1] MELGAREJO, Alfredo, 2012. *Potencial de cogeneración de energía eléctrica en un ingenio azucarero*. México. [Consulta: 2014 10 06]
- [3.2] CAÑA BRAVA, 2013. *Balance de aguas en la industria*. Perú [Consulta: 2014 04 06]
- [3.3] MATUTE, José. 2009. *Análisis técnico del cambio tecnológico de tándem de molinos en ingenios azucareros*. Ecuador.
- [3.4] ABB, 2012. *VARIABLE SPEED DRIVES INCREASE ENERGY EFFICIENCY AT SUGAR PLANT*. Brasil
- [3.5] SILVA, L. 2010. *Cogeneración y generación de electricidad en la industria azucarera*. Brasil [Consultar: 2014 10 02]
- [3.6] MEZA, Rodolfo, 2009. *Experiencia Brasileña en Cogeneración en Ingenios Azucareros*. México [Consultar: 2014 10 05]
- [3.7] GRAINGER, J., 1996. *Análisis de sistemas de potencia*. México

CAPITULO 4

COSTOS INVOLUCRADOS

En este capítulo, se indicarán los costos de los materiales y maquinaria involucrados para la realización del proyecto, los cuales implican los siguientes costos: costos de los componentes necesarios para el funcionamiento, costo de compra de equipos, costo de “puesta en planta” (EXB y FOB) y costo de instalación.

Todos los costos mostrados en este capítulo fueron obtenidos de una propuesta de venta de una exportadora de maquinaria del extranjero; dicha propuesta fue solicitada por la empresa analizada con la intención de una futura compra tras la realización del proyecto explicado en esta tesis.

4.1 COSTO DE PROYECTO

En la tabla 4.1, se muestra la lista de maquinaria, accesorios y equipos adicionales a adquirir para la realización del proyecto de cambio de accionamiento de molino a motores eléctricos.

Tabla 4.1: Costos de materiales y maquinaria

Maquinaria	Cantidad	Precio Unitario	Total
Reductor TORQMAX @B56 / BZ2x95SG 2.0 / NVD 135 / Accesorios RENK ZANINI	5	564 880 \$	2 824 400 \$
Motor 1200 HP WEG	5	82 508 \$	412 540 \$
Variador de velocidad YASKAWA	5	340 400 \$	1 702 000 \$
Acople Flexible para molino de 37" x 78"	5	55 545 \$	277 725 \$
Turbina a Vapor TEXAS modelo TXM-081240	1	850 000 \$	850 000 \$
Reductor de Velocidad RENK TA - 43 A	1	100 000 \$	100 000 \$
Actualización del equipo para la clase de vapor de 40 bar con potencia final de 10 MW	1	100 000 \$	100 000 \$
Generador SPW810 12000kVA, 1800rpm, 13,8kV, 60Hz	1	372 529 \$	372 529 \$
Regulador Automático de Tensión	1		
Celda del Interruptor en Vacío para el Generador	1		
Celdas de Surto y Protección contra Sobre tensiones	1		
Celdas de Cierre del Neutro y Puesta a Tierra	1	147 214 \$	147 214 \$
Tablero de Protección, Control y Sincronismo del Generador	1		
Conjunto de Baterías y Cargador	1		
		Sub-Total	6 786 408 \$

Nota. Fuente: Elaboración propia, 2014.

En las siguientes figuras, se presentará la distribución de costos de los principales componentes de un motor eléctrico de 1000 HP y turbogenerador de 6 MW.

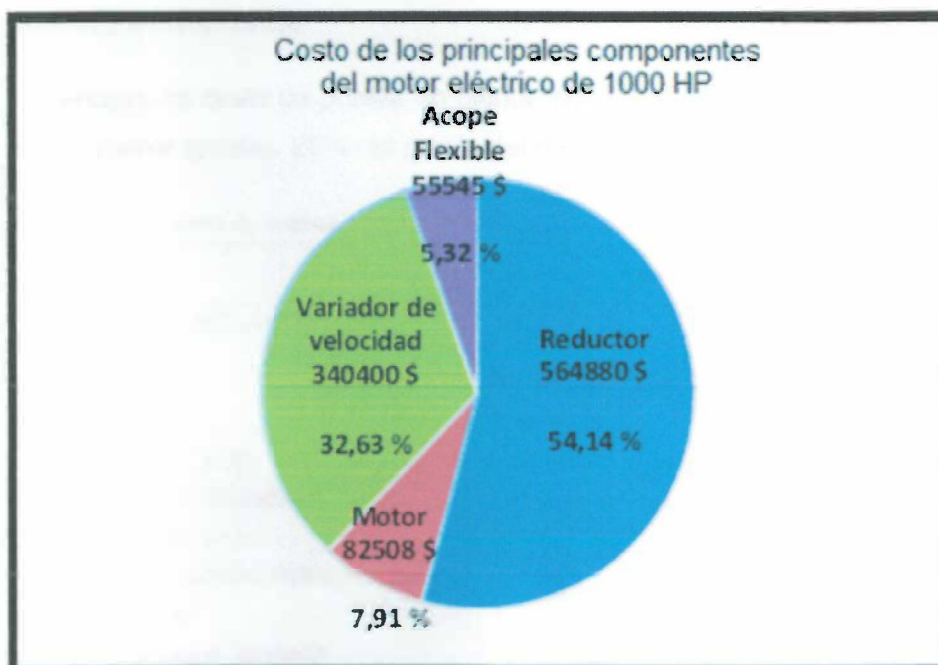


Figura N° 19: Costo de los principales componente del motor eléctrico
Fuente: Elaboración Propia, 2014

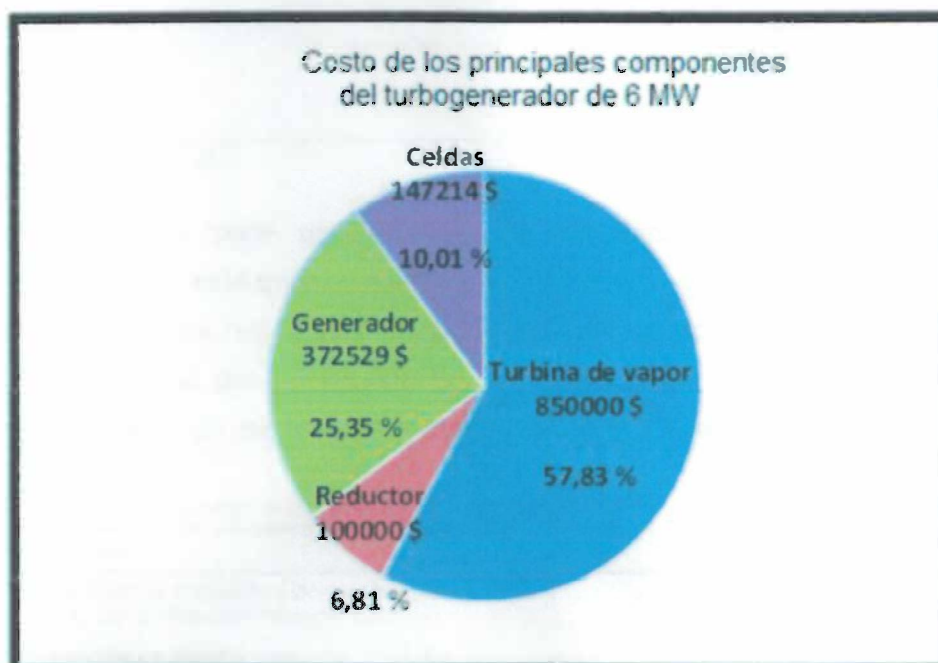


Figura N° 20: Costo de los principales componentes de los turbogeneradores
Fuente: Elaboración Propia, 2014

Además, la maquinaria seleccionada tiene condiciones de entrega designadas por las empresas exportadoras. Dichas condiciones generan un costo de "puesta en planta" y nacionalización de la maquinaria, las cuales la empresa de destino debe pagar. En la tabla 4.2, se presenta las condiciones de entrega y los costos mencionados anteriormente.

Los porcentajes de costo de puesta en planta, según su EXW y/o FOB, se asumen aproximadamente iguales, 25% del precio del precio de dicha maquinaria.

Tabla 4.2: Costos de puesta en planta de materiales y maquinaria

Maquinaria	Condición de entrega	Porcentaje de costo de puesta en planta	Costo de puesta en planta
Reductor TORQMAX ®B56 / BZ2x95SG 2.0 / NVD 135 / Accesorios RENK ZANINI	EXW – BRASIL	25%	706 100 \$
Motor 1200 HP WEG	FOB - PUERTO BRASILEIRO	25%	103 135 \$
Variador de velocidad YASKAWA	FOB – MIAMI	25%	425 500 \$
Acople Flexible para molino de 37" x 78"	EXW - PLANTA BRASIL	25%	69 431,25 \$
Turbina a Vapor TEXAS modelo TXM-0812\40	EXW - UNIDAD INDUSTRIAL DE MACEIÓ - ALAGOAS	25%	237 500 \$
Reductor de Velocidad RENK TA - 43 A			
Generador SPW810 12000kVA, 1800rpm, 13,8kV, 60Hz			
Regulador Automático de Tensión			
Celda del Interruptor en Vacío para el Generador	EXW - WEG		
Celdas de Surto y Protección contra Sobre tensiones	EQUIPAMENTOS ELECTRICOS AS - JARAGUÁ DO SUL - BRASIL	25%	129 935,75 \$
Celdas de Cierre del Neutro y Puesta a Tierra			
Tablero de Protección, Control y Sincronismo del Generador			
Conjunto de Baterías y Cargador			
		Sub-Total	1 671 602 \$

Nota. Fuente: Elaboración propia, 2014.

Siempre que se tiene una compra de maquinaria, se sugiere contratar supervisiones de instalación y montaje; sin embargo, para nuestro proyecto, la empresa vendedora nos otorga la opción de tener dicho servicio con un costo, respectivamente al tipo de supervisión. En la siguiente tabla, se presentan los costos de supervisión del turbogenerador otorgadas por la exportadora.

Tabla 4.3: Costos extras de supervisiones

Supervisión	Cantidad	Precio Unitario	Total
Supervisión de Instalación y Montaje Turbina - 1 técnico por 30 días / 240 horas de trabajo	1	36 000 \$	36 000 \$
Supervisión de Montaje Generador - 1 técnico por 10 días / 80 horas de trabajo	1	18 894 \$	18 894 \$
Start-Up & Comisionamiento Generador - 1 técnico por 9 días / 72 horas de trabajo	1	17 218 \$	17 218 \$
		Sub-Total	72 112 \$

Nota. Fuente: Elaboración propia, 2014.

Por otro lado, se tiene un costo adicional, el cual es el costo de instalación de maquinaria, todos los accesorios de dicha maquinaria y accesorios auxiliares. Este costo también debe ser considerado por la empresa compradora, dicho costo se puede considerar aproximadamente como un 25 % de la maquinaria total a instalar. Los costos nombrados se presentaran en la tabla 4.4.

Tabla 4.4: Costos de instalación de maquinaria y accesorios

Maquinaria	Condición de entrega	Porcentaje de costo de instalación	Costo de instalación
Reductor TORQMAX@B56 / BZ2x95SG 2.0 / NVD 135 / Accesorios RENK ZANINI	EXW – BRASIL		706 100 \$
Motor 1200 HP WEG	FOB - PUERTO BRASILERO		103 135 \$
Variador de velocidad YASKAWA	FOB – MIAMI		425 500 \$
Acople Flexible para molino de 37" x 78"	EXW - PLANTA BRASIL		69 431,25 \$
Turbina a Vapor TEXAS modelo TXM-0812M40	EXW - UNIDAD INDUSTRIAL DE MACEIÓ – ALAGOAS		237 500 \$
Reductor de Velocidad RENK TA - 43 A			
Generador SPWB10 12000kVA, 1800rpm, 13,8kV, 60Hz		25%	
Regulador Automático de Tensión			
Celda del Interruptor en Vacío para el Generador	EXW - WEG EQUIPAMENTOS ELECTRICOS AS - JARAGUÁ DO SUL – BRASIL		129 935,75 \$
Celdas de Surto y Protección contra Sobre tensiones			
Celdas de Cierre del Neutro y Puesta a Tierra			
Tablero de Protección, Control y Sincronismo del Generador			
Conjunto de Baterías y Cargador			
		Sub-Total	1 671 602 \$

Nota. Fuente: Elaboración propia, 2014.

Finalmente, los costos totales del proyecto se presentan en la tabla 4.5.

Tabla 4.5: Costo total del proyecto

Categoría	Costo
Costo de compra	6 786 408 \$
Costo de puesta en planta	1 671 602 \$
Costos de supervisiones	72 112 \$
Costos de instalación	1 671 602 \$
Sub-Total	10 201 724 \$

Nota. Fuente: Elaboración propia, 2014.

4.2 FORMA DE PAGO

Para la facilidad de la empresa compradora, la empresa exportadora define formas de pago para la compra de los diversos equipos. Dicha forma se establece en el contrato de compra; además, en este parte del capítulo se mencionaran, tanto para la obtención de los motores eléctrico y para el turbogenerador.

Tabla 4.6: Forma de pago del motor eléctrico

Porcentaje	Descripción
25%	Con la Orden de Compra
25%	A 90 días de la Orden de Compra
25%	A 180 días de la Orden de Compra
25%	Con el aviso del equipo listo para despacho

Nota. Fuente: Elaboración propia, 2014.

Tabla 4.7: Forma de pago del turbogenerador

Porcentaje	Descripción
30%	De anticipo, con hasta 07 días después de la emisión de al orden
20%	Con 30 días de la emisión de la orden
30%	Con 60 días de la emisión de la orden
20%	Con aviso de equipo listo para inspección de embarque

Nota. Fuente: Elaboración propia, 2014.

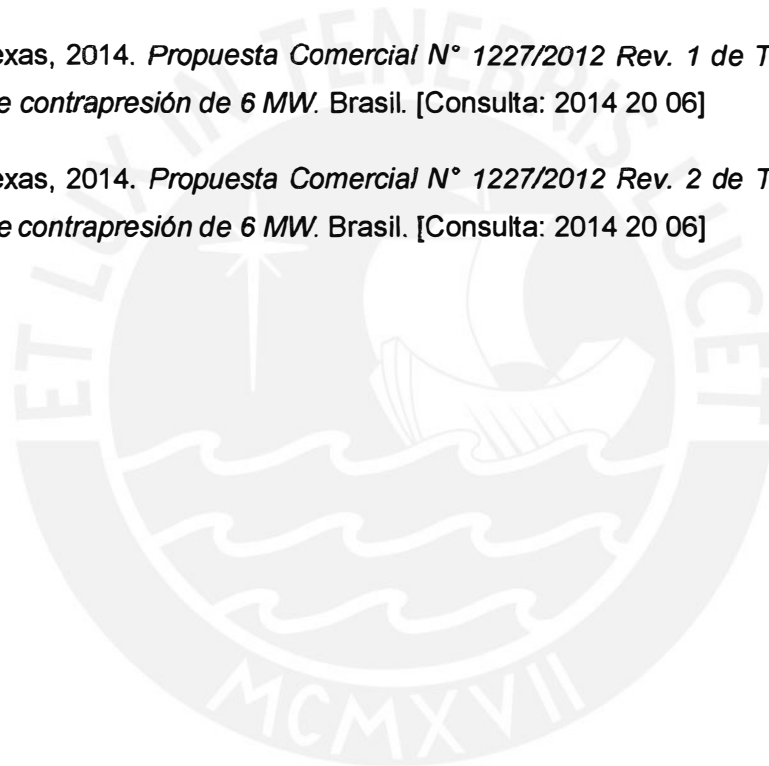
Estos porcentajes implican los siguientes costos:

1. Costo de compra de la maquinaria y accesorios
2. Costo de supervisiones

Finalmente, tras un cálculo simple de rentabilidad y flujo de caja del proyecto, se puede llegar a la conclusión que la cantidad invertida en el proyecto será recuperada en 3 años de trabajo, utilizando los motores eléctricos como nuevo accionamiento de molino e instalado el nuevo turbogenerador de 6 MW. Tomar en cuenta que para futuros proyectos, dicho turbogenerador tiene la capacidad de generar 10 MW, pero debe tener un vapor de entrada de presión manométrica de 420 psi, el cual, actualmente, la planta analizada no tiene ni puede generar; el vapor de entrada tiene una presión manométrica 300 psi. Los datos y cálculos necesarios se presentan en el ANEXO 7.

Referencias Bibliográfica

- [4.1] COMESAÑA, Pablo, 2005. *Montaje e instalación en planta de máquinas industriales. Procesos, instrumentos y técnicas básicas de construcción y organización del trabajo* 1era Ed. España: Ideas propias Editorial
- [4.2] Cybersteel Corporation, 2014. *Propuesta técnica y comercial de accionamiento de molinos 78"*. Brasil. [Consulta: 2014 20 06]
- [4.3] Texas, 2014. *Propuesta Comercial N° 1227/2012 Rev. 1 de Turbina de vapor de contrapresión de 6 MW*. Brasil. [Consulta: 2014 20 06]
- [4.4] Texas, 2014. *Propuesta Comercial N° 1227/2012 Rev. 2 de Turbina de vapor de contrapresión de 6 MW*. Brasil. [Consulta: 2014 20 06]



CONCLUSIONES

1. Se hizo el diagnóstico energético de una planta azucarera en el norte del Perú, con la finalidad de definir una manera de poder aumentar el flujo de procesamiento de caña de azúcar en un 50%, y así la planta tenga un aumento de producción de azúcar de aproximadamente 50%.
2. Se decidió optar en reemplazar las turbinas de vapor del área de extracción de jugo por motores eléctricos, debido a su eficiente funcionamiento en diversas empresas que desarrollaron el mismo cambio; y que se adapta a las condiciones de la empresa analizada.
3. Se seleccionó 5 motores eléctricos asíncronos de 1200 HP como remplazo del accionamiento de molinos de la planta analizada, junto con los siguientes componentes:
 - a. Reductor de velocidad con Potencia efectiva de salida de 1000 HP y velocidad de salida de 5 RPM.
 - b. Variador de frecuencia de 1250 HP y corriente 280 A.
 - c. Acople flexible para molino de 37" x 78".
4. Se seleccionó, como equipo adicional, un turbogenerador de turbina a contrapresión de 6 MW, el cual tiene capacidad de subir su generación de energía eléctrica hasta 10 MW. Dicho equipo será instalado.
5. Se analizó la distribución de la línea de tuberías de vapor de agua y el estado de aislamiento de dichas tuberías. Se planteó la reparación, cambio e instalación de nuevo aislante en las zonas de tubería con fugas, falta o con aislante en mal estado; con el objetivo de disminuir las pérdidas de calor en las tuberías. Se llegará a tener un 98 % de las tuberías aisladas.
6. Se decidió enviar el 100 % del vapor de agua de alta presión, producido por las calderas, a la planta de fuera para una máxima generación de energía eléctrica. Un porcentaje de dicha energía será enviada a los motores eléctricos en el área de extracción de jugo, molienda.

7. Se hizo una redistribución de las tuberías de vapor de agua, se desinstalará las tuberías dirigidas hacia el área de extracción de jugo e instalar cableado suficiente para correcta instalación de motores eléctricos.
8. Se recalculó la nueva eficiencia de la planta analizada, tras el cambio de accionamiento de molinos, el cual se incrementó en un 14 % hasta llegar 76% de eficiencia total promedio medida de la planta.
9. Se llegó a la conclusión de que el costo total para desarrollar el proyecto es de aproximadamente 10 000 000 \$, contabilizando los siguientes costos:
 - a. Costo de compra de maquinaria
 - b. Costo de "puesta en planta" de la maquinaria
 - c. Costo e instalación de la maquinaria
 - d. Costo de supervisión de buen funcionamiento de la maquinaria.
10. En las nuevas condiciones de trabajo, se circulará 16 T/h de vapor de alta presión por la válvula reductora de presión, sin tener ninguna ganancia de producción de energía eléctrica; sin embargo, existe la opción de mandar todo este flujo de vapor por los turbogeneradores para tener una generación eléctrica extra. Poniendo a máximas condiciones de trabajo el nuevo turbogenerador, 10 MW, se puede tener aproximadamente 4 MW de excedente de energía eléctrica, el cual puede ser vendido a la MEM.
11. Se llegará a aumentar el aprovechamiento de los recursos generados en la planta en un 10% (generación de energía eléctrica, producción de vapor de alta y baja presión); aumento de aprovechamiento del bagazo residual en 5% (menor cantidad de bagazo residual se almacena en los campos); y aumento de la eficiencia de operación de maquinaria relevante en un 15% (potencias más cercanas a las de placas).
12. Una ventaja importante dentro del mantenimiento es que con el motor se puede realizar pruebas mecánicas en el molino en cualquier instante mientras que con la turbina se requiere la presencia de vapor para poder realizar cualquier tipo de prueba.
13. Tras la instalación de los nuevos accionamientos y nuevo turbogenerador de 6 MW, se concluye que la inversión inicial será recuperada a 3 años de trabajo con ellos; a partir del año de la instalación, se verán significantes ganancias de dinero que vienen de la extra venta de azúcar producida.

14. Gracias a la instalación de un panel de control en el área de extracción, se podrá monitorear, a cualquier hora, fácilmente todas las variables importantes de los motores eléctricos. Esto facilita los mantenimientos preventivos para evitar la parada de molienda. El panel de control será instalado en conjunto con los motores eléctricos.
15. Según recomendaciones de los fabricantes de los equipos que se instalarán, se deberá hacer una revisión cada seis meses de los motores eléctricos; y, limpieza y revisión de los demás componentes mecánicos. Para poder evitar paradas de molienda y pérdidas económicas significativas.



BIBLIOGRAFIA

1. ÇENGEL, Y., y BOLES, M. 2009. *Termodinámica* 7ma ed. México: Offset Max S.A.
2. SILVA, L. 2010. *Cogeneración y generación de electricidad en la industria azucarera*. Brasil [Consultar: 2014 10 02]
3. BUDYNAS, R. y NISBETT, K., 2011. *Shigley's mechanical engineering design*. New York
4. RODRÍGUEZ, J., 2009. *Resistencia de Materiales 2*. Lima: PUCP.
5. DOBROVOLSKI, V., 1980. *Elementos de máquinas*. Moscú: Ediciones MIR.
6. WEG, 2011. Catálogo de generadores síncronos WEG. Brasil.
7. GRAINGER, J., 1996. *Análisis de sistemas de potencia*. México
8. BARTENS, A., 1995. *Manual de energía para fábricas de azúcar* 2da ed. Berlín
9. S/N, 2000. *Aislamiento en tuberías*. [Consulta: 2013 10 08]
10. NAVA, H., 2001. *El sistema internacional de unidades (SI)*. México: Los Cués. [Consulta: 2013 11 05]
11. MC GRAW-HILL, 1985. *Operación de plantas industriales: Preguntas y respuestas* Volumen I. México
12. HUGOT, E., 1986. *HANDBOOK OF CANE SUGAR ENGINEERING* 3da Ed. Estados Unidos: Elsevier
13. REIN, Peter, 2000. *Ingeniería de la caña de azúcar*. Colombia
14. HONIG, Pieter., 2004. *Principios de tecnología Azucarera*.
15. L.A. Tromp. 1936. *MACHINERY AND EQUIPMENT OF THE CANE SUGAR FACTOR*. Nueva York
16. CHEN, J., 1991. *Manual del azúcar de caña*. México: Editorial Limusa S.A.

BIBLIOGRAFIA

1. ÇENGEL, Y., y BOLES, M. 2009. *Termodinámica* 7ma ed. México: Offset Max S.A.
2. SILVA, L. 2010. *Cogeneración y generación de electricidad en la industria azucarera*. Brasil [Consultar: 2014 10 02]
3. BUDYNAS, R. y NISBETT, K., 2011. *Shigley's mechanical engineering design*. New York
4. RODRÍGUEZ, J., 2009. *Resistencia de Materiales 2*. Lima: PUCP.
5. DOBROVOLSKI, V., 1980. *Elementos de máquinas*. Moscú: Ediciones MIR.
6. WEG, 2011. Catálogo de generadores síncronos WEG. Brasil.
7. GRAINGER, J., 1996. *Análisis de sistemas de potencia*. México
8. BARTENS, A., 1995. *Manual de energía para fábricas de azúcar* 2da ed. Berlín
9. S/N, 2000. *Aislamiento en tuberías*. [Consulta: 2013 10 08]
10. NAVA, H., 2001. *El sistema internacional de unidades (SI)*. México: Los Cués. [Consulta: 2013 11 05]
11. MC GRAW-HILL, 1985. *Operación de plantas industriales: Preguntas y respuestas* Volumen I. México
12. HUGOT, E., 1986. *HANDBOOK OF CANE SUGAR ENGINEERING* 3da Ed. Estados Unidos: Elsevier
13. REIN, Peter, 2000. *Ingeniería de la caña de azúcar*. Colombia
14. HONIG, Pieter., 2004. *Principios de tecnología Azucarera*.
15. L.A. Tromp. 1936. *MACHINERY AND EQUIPMENT OF THE CANE SUGAR FACTOR*. Nueva York
16. CHEN, J., 1991. *Manual del azúcar de caña*. México: Editorial Limusa S.A.

17. SPENCER, Guilford, 1917. *CANE-SUGAR MANUFACTURES AND THEIR CHEMISTS* 6da Ed. Londres: Chapman & Hall
18. HIMMELBLAU, David, 1997. *Principios Básicos y Cálculos en Ingeniería Química* 6da Ed. México: Prentice Hall.
19. URGILES, Cueva, 2011. *Calderas a Bagazo*. Ecuador. [Consulta: 2013 08 02]
20. BAUTISTA, E., 2000. *¿Cómo citar recursos de información de internet?* México. [Consulta: 2014 23 06]
21. *Conversión entre diferentes unidades*. [Web en línea].
<http://www.tutiempo.net/silvia_larocca/Programas/convertir_unidades.htm>. [Consulta: 2013 10 04]
22. *Tándem de molinos trapiche*. [Web en línea].
<<http://avibert.blogspot.com/2011/09/tandem-de-molino-de-trapiche-esquema.html>> [Consulta: 2013 10 03]
23. CONCYTEC, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Perú. [Web en línea]. <<http://portal.concytec.gob.pe/index.php/fondecyt-becas/proyectos-de-investigacion.html>> [Consulta: 2013 09 31]
24. *Caldera de bagazo*. [Web en línea].
<<http://avibert.blogspot.com/2011/12/partes-relevantes-de-una-calderabagazo.html>> [Consulta: 2013 10 05]
25. *Manual de motores eléctricos*. [Web en línea].
<<http://es.scribd.com/doc/20119611/Funcionamiento-Del-Motor-Elctrico>> [Consulta: 2013 10 08]
26. *Motor hidráulico*. [Web en línea].
<http://es.wikipedia.org/wiki/Motor_hidr%C3%A1ulico> [Consulta: 2013 10 07]
27. *RAPID DESIGN*. [Web en línea].
<<http://www.sugartech.com/rapiddesign/index.php>> [Consulta: 2014 10 02]
28. PERAFAN, Felipe, 2009. *La caña de azúcar*. [Web en línea].
<<http://www.perafan.com/azucar/ea02cana.html>> [Consulta: 2014 09 05]