

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL
DE INGENIERÍA EN ENERGÍA



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

TESIS PARA TÍTULO

“INFLUENCIA DEL BAGAZO DISPONIBLE EN EL INCREMENTO DE LA
POTENCIA EFECTIVA DEL SISTEMA DE COGENERACIÓN -
AGROINDUSTRIAS SAN JACINTO S.A.A”

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
EN ENERGÍA

AUTORES

- ❖ Bachiller HUANCA VELA, Juan Abel
- ❖ Bachiller GAMARRA CORMAN, Elvis Alberto

ASESOR

Mg. GUEVARA CHINCHAYAN, Robert Fabián.

NUEVO CHIMBOTE – PERU
JUNIO 2017



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL
DE INGENIERÍA EN ENERGÍA**

CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR

La presente Tesis ha sido revisada y desarrollada en cumplimiento del objetivo propuesto y reúne las condiciones formales y metodológicas, estando encuadrado dentro de las áreas y líneas de investigación conforme al reglamento general para obtener el título profesional en la universidad nacional del santa (R: D: N° 471-2002-CU-R-UNS) de acuerdo a la denominación siguiente:

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO EN
ENERGIA**

**Título: “INFLUENCIA DEL BAGAZO DISPONIBLE EN EL INCREMENTO DE
LA POTENCIA EFECTIVA DEL SISTEMA DE COGENERACIÓN -
AGROINDUSTRIAS SAN JACINTO S.A.A”**

TESISTAS: Bachiller HUANCA VELA, Juan Abel
 Bachiller GAMARRA CORMAN, Elvis Alberto

.....
Mg. Robert Fabián Guevara Chinchayan
ASESOR



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL
DE INGENIERÍA EN ENERGÍA**

CONFORMIDAD DEL JURADO EVALUADOR:

Mg. Leonidas Yauri García

PRESIDENTE

Mg. Pedro Paredes Gonzales

INTEGRANTE

Mg. Robert Guevara Chinchayán

INTEGRANTE

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por guiarnos en cada paso dado durante nuestras vidas.

Agradecemos a nuestras familias por el apoyo incondicional que nos han brindado en esta carrera y por el cariño que nos han brindado a lo largo de nuestras vidas.

Un especial agradecimiento a la Universidad Nacional del Santa, a la Escuela de Ingeniería en Energía y a los grandes maestros que la conforman por la oportunidad de desarrollarnos profesionalmente y por el valioso conocimiento que han compartido con nosotros.

Agradecemos a nuestros amigos por el apoyo y fuerza que nos brindaron día a día.

DEDICATORIA

A Dios por darme sabiduría y entendimiento, por iluminar cada día de mi vida y por darme la fuerza y determinación necesaria para emprender y culminar cada meta trazada en mi vida.

*A mis Amores **Dannae, Karla y Zoe** por estar siempre dándome ánimos para seguir adelante, que siempre fueron y serán mi motor y motivo en la vida, me dieron las fuerzas necesarias para cumplir mis metas en mi vida profesional, les estaré agradecido toda mi vida.*

*A mis padres **Juan y Felicita** por estar siempre dándome ánimos para seguir adelante, que en cada obstáculo que te ponga la vida siempre debes seguir adelante con la convicción y con los valores con que me formaron para lograr cada meta trazada*

Juan Abel Huanca Vela.

DEDICATORIA

*A Dios por darme sabiduría y entendimiento,
por iluminar cada día de mi vida y por darme
la fuerza y determinación necesaria para
emprender y culminar cada meta trazada en
mi vida.*

*A mis padres y a mi hermanita por estar
siempre dándome ánimos para seguir
adelante, que en cada obstáculo que te
ponga la vida siempre debes seguir
adelante con la convicción y con los
valores con que me formaron para lograr
cada meta trazada*

Elvis Alberto Gamarra Cormán.

RESUMEN

La empresa “Agroindustrias San Jacinto S.A.A” está ubicada en la provincia del Santa, distrito de Nepeña y está dedicada al procesamiento de caña de azúcar. Y en este informe de tesis se presenta el comportamiento del turbo generador de 21.7 MW en la repotenciación de la central de cogeneración de Agroindustrias San Jacinto S.A.A, mediante la factibilidad técnica y económica de la central de cogeneración, del cual tiene por finalidad de autoabastecerse de energía eléctrica.

Con la cogeneración de la empresa Agroindustrias San Jacinto S.A.A; se reduce la emisión de contaminantes, debido principalmente a que es menor la cantidad de combustible que consume para producir la misma cantidad de energía útil, además los sistemas de cogeneración utilizan tecnologías más avanzadas y combustibles más limpios.

En todo ingenio azucarero es importante la producción de vapor debido a que se lo utiliza en la generación eléctrica y en la producción de azúcar. Por lo que es indispensable el uso de calderas que proporcione un flujo de vapor a presión y temperatura constante. A nivel de ingenios azucareros se manejan distintas presiones de vapor de operación para calderas.

Actualmente la evaluación de los procesos energéticos de la molienda es de 4000 Toneladas de caña por día, se calcularon los indicadores energéticos de operación los cuales tienen los siguientes valores 2.08 kg vapor/ kg bagazo para el índice de generación de vapor.

Mediante la evaluación de los procesos energéticos proyectados en la ampliación de molienda a 5200 toneladas de caña por día, se determinó el modelo más eficiente de operación, el cual consiste en la sustitución de turbinas por motores eléctricos en el área de trapiche y calderas, instalación de una caldera nueva de 60 Ton vapor/hr, puesta en marcha del turbogenerador TGM de 21.71 MW instalado, puesta en marcha del calentador de jugo clarificado instalado, integración de un ciclo combinado con gasificación de bagazo excedente.

Palabra clave: Potencia Efectiva, Bagazo, Cogeneración.

ABSTRACT

The company "Agroindustrias San Jacinto S.A.A" is located in the province of Santa, district of Nepeña and is dedicated to the processing of sugar cane. And this thesis report presents the behavior of the turbine generator of 21.7 MW in the repowering of the cogeneration plant of Agroindustrias San Jacinto SAA, through the technical and economic feasibility of the cogeneration plant, whose purpose is to self-sustain electric power.

The cogeneration of the company Agroindustrias San Jacinto S.A.A; The emission of pollutants is reduced, mainly due to the smaller amount of fuel consumed to produce the same amount of useful energy, in addition the cogeneration systems use more advanced technologies and cleaner fuels.

In all sugar mills, steam production is important because it is used in electricity generation and in sugar production. Therefore, it is essential to use boilers that provide constant steam pressure and temperature. At the level of sugar mills different operating steam pressures are handled for boilers.

At present the evaluation of the energy processes of the grinding is of 4000 Tons of cane per day, the energetic indicators of operation were calculated which have the following values 2.08 kg steam / kg bagasse for the rate of steam generation.

Through the evaluation of the energetic processes projected in the expansion of grinding to 5200 tons of cane per day, the most efficient model of operation was determined, which consists of the replacement of turbines by electric motors in the area of trapiche and boilers, installation Of a new boiler of 60 Ton steam / hr, start of the turbine generator TGM of 21.71 MW installed, start up of the clarified juice heater installed, integration of a combined cycle with gasification of excess bagasse.

Keywords:Power Efectiva , Bagasse , cogeneration

INDICE

AGRADECIMIENTO

DEDICATORIA

RESUMEN

ABSTRACT

CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	2
1.2 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	4
1.4 IMPORTANCIA Y JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO	4
1.5 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	5
1.5.1 OBJETIVO GENERAL	5
1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
1.6 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	6
1.7 IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES	6
1.8 DIMENSIONES E INDICADORES	6
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	7
2.1 CALDERA (CALEFACCIÓN)	8
2.2 COMBUSTIÓN DEL BAGAZO	9
2.3 MATERIA PRIMA - BAGAZO	9
2.3.1 COMPOSICIÓN QUÍMICA.....	10
2.3.2 USO Y APLICACIONES	10
2.4 CANTIDAD DE FIBRA DEL BAGAZO.....	10
2.5 PODER CALORÍFICO DEL BAGAZO.....	11
2.6 HUMEDAD DEL BAGAZO	11
2.7 CALIDAD DEL BAGAZO.....	12
2.8 CONDUCTORES DE BAGAZO	12
2.9 SISTEMA DE EXTRACCIÓN Y EVAPORACIÓN DEL JUGO.....	13
2.9.1 EQUIPOS DE EXTRACCIÓN DE JUGO DE CAÑA.....	13
2.9.2 MACHETES Y DESFIBRADOR.....	13

2.9.3	MOLINOS.....	13
2.9.4	MAZAS.....	14
2.10	EQUIIPOS DE EVAPORACIÓN.....	15
2.10.1	EVAPORACIÓN	15
2.10.2	EVAPORADORES.....	15
2.10.3	TACHOS.....	15
2.11	SISTEMAS DE COGENERACIÓN.....	16
2.11.1	VENTAJAS DE LA COGENERACIÓN	17
2.11.2	DESVENTAJAS DE LA COGENERACIÓN.....	19
2.11.3	PRODUCCIÓN DE VAPOR.....	20
2.12	PROCESO DE COGENERACIÓN EN AGROINDUSTRIAS SAN JACINTO	20
2.13	IMPORTANCIA DE LA COGENERACIÓN	21
2.14	CONFIGURACIONES DE LAS CENTRALES DE COGENERACIÓN.....	21
2.15	BENEFICIOS DE LA COGENERACIÓN.....	22
2.16	RECOMENDACIONES PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE COGENERACIÓN.....	22
2.16.1	PAUTAS PARA LA CALDERA	23
2.16.2	PAUTAS PARA LA TURBINA.....	24
2.17	SISTEMA DE COGENERACIÓN CON TURBINA DE VAPOR	24
2.18	BOMBAS DE AGUA DE ALIMENTACIÓN	27
2.19	DESCRIPCIONES RELEVANTES	28
2.19.1	VAPOR DE ESCAPE.....	28
2.19.2	VAPOR VEGETAL.....	28
2.19.3	CONDENSADO	28
2.20	EQUIPOS PARA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD	28
2.20.1	TURBOGENERADOR ELÉCTRICO.....	28
2.20.2	PROTECCIÓN & CONTROLES DEL TURBOGENERADOR	29
2.20.3	TURBINA DE VAPOR	30
2.21	REDUCTOR DE VELOCIDAD.....	32
2.22	CLASIFICACIÓN DE LAS TURBINAS DE ACUERDO AL USO DEL VAPOR EN EL ESCAPE O VAPOR INTERMEDIO	33
2.22.1	TURBINAS DE DESCARGA ATMOSFÉRICA.....	33
2.22.2	TURBINAS DE CONDENSACIÓN DIRECTA.....	33
2.22.3	TURBINAS DE CONTRAPRESIÓN	34

2.23	PROCESO PRODUCTIVO EN EL CAMPO	34
2.24	EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	38
2.24.1	IMPORTANCIA	38
2.24.2	INDICADORES ECONÓMICOS	38
2.24.3	VALOR ACTUAL NETO	39
2.24.4	TASA INTERNA DE RETORNO.....	40
2.24.5	PERIODO DE RETORNO DE LA INVERSION O PAYBACK	40
CAPITULO III: MATERIAL & METODO.....		41
3.1.	MATERIALES.....	42
3.1.1.	EQUIPO PARA PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	42
3.2.	MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....	42
3.2.1	PARA DETERMINACIÓN DEL SISTEMA DE COGENERACIÓN	42
3.2.2	BALANCE DE ENERGÍA PARA EQUIPOS DE PREPARACIÓN Y EXTRACCIÓN DE CAÑA EN EL ÁREA DE TRAPICHE	43
3.2.3	PARÁMETROS DE GENERACIÓN DE VAPOR.....	43
3.2.4	LOS PARÁMETROS DE DISEÑO DEL TURBOGENERADOR TGM DE 21.7 M.W	47
3.2.5	PARÁMETROS PARA EL BALANCE DE ENERGÍA EN LOS EQUIPOS CONSUMIDORES DE VAPOR	48
CAPITULO IV: CALCULOS Y RESULTADOS		58
4.1	CÁLCULOS TÉCNICOS	59
4.1.1	CÁLCULOS DE INDICADORES DEL FLUJO DE VAPOR GENERADO	59
4.1.2	UTILIZANDO DATOS MENSUALES EN TRAPICHE.....	60
4.1.3	CÁLCULO DEL INGRESO EN EL TRAPICHE PARA OBTENER EL BAGAZO, MEDIANTE UN BALANCE VOLUMÉTRICO.....	61
4.1.4	POTENCIA EFECTIVA ACTUAL DEL TURBOGENERADOR	69
4.1.5	SIMULACIÓN DEL BAGAZO SOBRANTE QUE QUEDA EN EL ALMACÉN DE LA EMPRESA.....	72
4.1.6	GRÁFICO DE LA T.C.M.D vs POTENCIA EFECTIVA.....	73
4.1.7	UTILIZANDO TODO EL BAGAZO EN STOCK PARA EL COMPORTAMIENTO DE LA POTENCIA EFECTIVA.....	74
4.2	RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	76
4.2.1	DETERMINACIÓN DEL VALOR ACTUAL NETO	76

4.2.2	DETERMINACIÓN DE LA TASA INTERNA DE RETORNO	78
4.2.3	DETERMINACIÓN DE LA RENTABILIDAD DEL PROYECTO	79
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		80
5.1	CONCLUSIONES.....	81
5.2	RECOMENDACIONES	82
BIBLIOGRAFÍA		83
ANEXOS.....		84

INDICE DE TABLAS

✓ Tabla N° 01: Parámetros de los Generadores de Vapor de AISJ	44
✓ Tabla N° 02: Coeficientes de Pérdidas	45
✓ Tabla N° 03: Informaciones Técnicas Generales del Turbogenerador	46
✓ Tabla N° 04: Equipos Consumidores de Vapor en el Área de Trapiche	48
✓ Tabla N° 05: Datos de Molienda	49
✓ Tabla N° 06: Equipos de Preparación de Caña	49
✓ Tabla N° 07: Consideraciones Técnicas para los Equipos de Preparación de Caña	51
✓ Tabla N° 08: Datos para Dimensionamiento de Equipos de Extracción de Jugo	51
✓ Tabla N° 09: Condiciones de Operación de Turbinas de Vapor en el Área de Trapiche	54
✓ Tabla N° 10: Dimensiones de Entrada y Salida en Turbinas de Trapiche	54
✓ Tabla N° 11: Turbina de Extracción – Contrapresión	56
✓ Tabla N° 12: Características del Generador Eléctrico WEG AISJ	56
✓ Tabla N° 12 - A: Parámetros de Operación de la Turbina de Vapor de 21.7 MW.....	57
✓ Tabla N° 13: Índice de Pérdidas y Recuperación de Calor	59
✓ Tabla N° 14: Índice de Consumo de Bagazo para la Generación de Vapor	59
✓ Tabla N° 15: Índice de Molienda & Fabrica	60
✓ Tabla N° 16: Resumen del Proceso en la Molienda	68
✓ Tabla N° 17: Caso 1 - Resumen del Proceso para Obtener la Potencia Efectiva del Turbogenerador en Función del Bagazo Utilizado	69
✓ Tabla N° 18: Caso 2 - Resumen del Proceso para Obtener la Potencia Efectiva del Turbogenerador en Función del Bagazo Utilizado	70
✓ Tabla N° 19: Caso 3 - Resumen del Proceso para Obtener la Potencia Efectiva del Turbogenerador en función del Bagazo Utilizado	71
✓ Tabla N° 20: Utilizando todo el Bagazo y con una Nueva Caldera a una T = 400°C y P = 41bar	72
✓ Tabla N° 21: Utilizando todo el Bagazo y con una Nueva Caldera a una T = 450°C y P = 41bar	72

✓ Tabla N° 22: Utilizando todo el Bagazo y con una Nueva Caldera a una $T = 400^{\circ}\text{C}$ y $P = 41\text{bar}$	73
✓ Tabla N° 23: T.CM.D vs Potencia	73
✓ Tabla N° 24: Ton/h de Bagazo vs Potencia	75
✓ Tabla N° 25: Datos de la Nueva Caldera.....	76
✓ Tabla N° 26: Costo de los Equipos para la Implementación del Modelo más Eficiente de Operación y Determinación del Costo de Inversión	77
✓ Tabla N° 27: Parámetros Característicos para el Cálculo del Ingreso Neto Anual por Venta de Excedentes	77
✓ Tabla N° 28: Cálculo del Valor Actual Neto	78
✓ Tabla N° 29: Cálculo de la Tasa Interna de Retorno (TIR)	78
✓ Tabla N° 30: Cálculo de la Rentabilidad del Proyecto (Pay Back)	79

INDICE DE FIGURAS

✓ Figura N° 01: Caldera Acuotubular Foster Wheeler N°01	08
✓ Figura N° 02: Sistema de Turbina de Vapor	24
✓ Figura N° 03: Sistema de Cogeneración con Turbina de Vapor	25
✓ Figura N° 04: Turbogenerador TGM/ WEG 21.7 kW	28
✓ Figura N° 05: Escalonamientos de Reacción y Pérdidas Correspondientes	30
✓ Figura N° 06: Diagrama de un Escalonamiento de la Turbina de Acción	31
✓ Figura N° 07: Reductor de Velocidad	31
✓ Figura N° 08: Los Engranajes del Reductor de Velocidad	32
✓ Figura N° 09: Turbina de Condensación	33
✓ Figura N° 10: Turbina de Contrapresión	33
✓ Figura N° 11: Proceso Productivo de la Caña de Azúcar	34
✓ Figura N° 12: Equipos de Extracción de Jugo Mezclado y Bagazo de Caña	37
✓ Figura N° 13: Diagrama Transmisión de Energía Mecánica en el Área de Trapiche ...	47
✓ Figura N° 14: Equipos de Extracción de Jugo Mezclado y Bagazo de Caña para una Molienda de 4500 TCMD	67
✓ Figura N° 15: Nuestro Nueva Sistema con una Caldera Nueva a los mismos Parámetros	73

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN

Agroindustrias San Jacinto S.A.A. es una sociedad dedicada al cultivo, transformación e industrialización de la caña de azúcar así como a la comercialización de los productos y subproductos derivados de su actividad principal, como azúcar (blanca, refinada y rubia), alcoholes, melaza, fibra de bagazo, etc. Cuenta con 12,337 hectáreas de las cuales solo 7831 de ellas son aptas para el cultivo de caña de azúcar que es convertido en bagazo. Y el motivo es que la otra cantidad sobrante se desperdicia y se pierde una producción importante para la elaboración y producción del bagazo, lo que se hará es aprovechar dicha cantidad para poder aumentar la potencia efectiva por medio de un turbogenerador para generar mayor producción y tener menores inversiones en la empresa, es decir nuestro plan de trabajo de investigación es no desperdiciar la gran cantidad de bagazo que lo pierden y no lo aprovechan.

En la empresa el subproducto o residuo de la molienda de caña se llama bagazo; como todos los materiales es una fibra leñosa que contiene caña y que sale de los molinos unida al jugo residual y la humedad que queda del agua de imbibición. El bagazo contiene un elevado porcentaje de humedad que varía según la velocidad y la eficiencia de la molienda. Actualmente Agroindustrias San Jacinto está ejecutando el montaje del turbogenerador de 21.71 MW y el área destinada para el proyecto se encuentra ocupada con otros equipos como transformadores, celdas, tableros y sus instalaciones eléctricas en media y baja tensión. En el área destinada para el turbogenerador se encuentra en el transformador N°1 de 1000 kVA, 4.16/13.8 kV, 4140 kg y el transformador N°2 de 3000 kVA, 13.8/4.16 kV, 6275 kg. En el turbogenerador se encuentran cinco celdas en 13,8 kV.

También tienen un tablero de distribución con cuatro columnas que se describen, columna N°01 es de transición aquí llegan 04 ternas desde el tablero principal ubicado en la sala del turbogenerador, columna N°02 contiene el interruptor para el motor bomba de agua San Ignacio N°11, columna N°03 contiene un interruptor de reserva, columna N°04 contiene el interruptor de salida del grupo electrógeno. El tablero de fuerza N°2 contiene los arrancadores para los motores bomba de agua principal N°1 y N°2 y un motor bomba de agua auxiliar.

El proceso de generación de vapor se da en la sección calderas en donde se tienen tres calderas, dos de ellas acuotubulares, ambas calderas para su funcionamiento requieren agua tratada. Las calderas acuotubulares compactas usan como combustible el bagazo, subproducto de la preparación de la caña para elaborar azúcar.

1.2 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2005 – “Estudio Energético del Sistema de Cogeneración en el Ingenio Azucarero San Jacinto” / Autores: Colchado Colonia Abner & Muñoz Chupillon Anibal.

Concluye que,

En el ingenio San Jacinto se genera vapor, en dos calderas acuotubulares a una presión de 600 psig para accionar cargas mecánicas y un turbogenerador eléctrico de 3000 kW, luego este vapor de escape es empleado en el proceso de elaboración de azúcar. En el ingenio azucarero el consumo de combustibles a través del bagazo es de 99.12% con respecto al Petróleo Residual 500. El consumo de energía eléctrica anual es de 51.04% de energía generada, mientras que el 48.96% de energía es comprada a la Red.

El ingenio azucarero San Jacinto tiene una máxima demanda de 1982 kW en planta y 1320 KW en Campo para el sistema de riego, la energía que genera el turbogenerador el 99.42% es aprovechada en planta y el 0.58% en campo y de la energía eléctrica que se compra el 33.53% es empleado planta, el restante 66.47% en campo.

2010 – “Repotenciación de la Central de Cogeneración de la Empresa Agroindustrial San Jacinto para su calificación según el D.S. N° 037 - 2006-EM y poder inyectar sus Excedentes de Energía Eléctrica al S.E.I.N” / Autor: Vásquez Cenas Ángel Oswaldo.

Concluye que,

El calor útil equivalente dentro del complejo industrial es de 38,32 MW térmicos, los cuales se distribuyen en 12 máquinas accionadas por turbinas de vapor de contrapresión con presiones de ingreso de vapor sobrecalentado de 40,28 bar y 10,2 bar, así mismo tiene 3 áreas de consumo de vapor para procesos (destilería, evaporación y servicios auxiliares) abastecidos con vapor a 2,1 bar y 1,1 bar. Sumando entre ellas un calor útil equivalente a 38,32 MW térmicos.

En función al Reglamento de Cogeneración D.S. N° 037–2006 EM se han elaborado alternativas de solución para repotenciar la central de Cogeneración, siendo la alternativa S3, la cual supera la restricción impuesta por el Rendimiento Eléctrico Efectivo y se caracteriza por la adquisición de un nuevo sistema de generación de vapor y una turbina de vapor de condensación y extracción, con una Inversión de US11000000.00, operando el sistema con 42 bar de presión y 440 °C, con un costo de generación de energía de 1,271 US/MWh.

2012 – “Estudio para el Diseño de un Sistema de Cogeneración Calificada para la Empresa Agroindustrial Cartavio S.A.A” / Autores: Gutiérrez Jacobo Jorge & Orue Risco Edwin.

Concluye, que:

El nuevo sistema de cogeneración Caso 3 solución S1 requiere un calor útil de 38.96 MW con una potencia eléctrica generada de 19.36 MW y un calor suministrado por la combustión del bagazo de 107.904 MW.

La nueva central de cogeneración calificada tiene una presión de generación en el caldero acuotubular de 42 bar y 480°C de temperatura y una potencia de generación de energía eléctrica en los bornes del generador de 19.36 MW, donde el costo de generación de energía es igual a 1.760 US/MWh. Obteniendo un rendimiento eléctrico efectivo de 0.3, de acuerdo al Decreto Supremo N°037–2006-EM se ha diseñado la central de cogeneración calificada.

1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿De qué manera influye el bagazo disponible en el incremento de la Potencia Efectiva del Sistema de Cogeneración - Agroindustrias San Jacinto S.A.A.?

1.4 IMPORTANCIA Y JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

El proyecto que se plantea está relacionado al aprovechamiento del bagazo de caña el cual se justifica desde los siguientes puntos de vista:

- ✓ La producción de la caña de azúcar se da principalmente en provincias de clima cálido húmedo por lo que el aprovechamiento de manera íntegra en sus derivados nos propone grandes oportunidades. Se aprovecharía el bagazo de caña,

disminuyendo el desperdicio de recursos, siendo un aporte para el medio ambiente. El contenido de humedad del bagazo varía según la velocidad y la eficiencia de la molienda. La humedad que ingresa a las calderas es menor (alrededor del 50.96 %), debido a la evaporación que tiene al permanecer en la pila de almacenamiento.

- ✓ Una de las grandes ventajas es que al quemar solamente bagazo como combustible (biomasa) el índice de calificación para cogenerar con venta a la red R.E.E. es 0.30, el cual es rápidamente accesible al ingenio. Está dirigido especialmente a ingenieros y técnicos relacionados en el vapor para aumentar la proyección de las Toneladas de Consumo Directo (TCD) en el turbogenerador de 21.7 MW y en la eficiencia energética para poder ahorrar existentes en el mercado, de modo tal que las empresas que se tracen metas de lograr mejoras en el proceso productivo y de menor inversión.
- ✓ Las centrales de cogeneración, mantienen un balance económico en sus ingresos, cuando baja el precio del azúcar se mantiene la venta de energía eléctrica al sistema interconectado, se vuelven muy estables y son muy competitivas económicamente. Y también las centrales de cogeneración tienen un 32% menos de consumo de combustible que una central convencional.
- ✓ Es importante porque permite contribuir de manera indirecta a una metodología, que ayude en la elaboración de normas o reglas conducentes a lograr el ahorro en el consumo energético. Mejorará eficientemente la generación de energía térmica – eléctrica al obtener un mínimo su consumo específico de generación, balanceando sus ingresos económicos en épocas de crisis con la venta de energía eléctrica al cogenerar.

1.5 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1 OBJETIVO GENERAL

- Determinar la influencia del bagazo disponible en el incremento de la potencia efectiva del sistema de cogeneración - Agroindustrias San Jacinto S.A.A.

1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Determinar la energía térmica en función al bagazo disponible.
- ✓ Analizar alternativas de modificación en la mejor eficiencia en el gabinete en función al uso del bagazo disponible.
- ✓ Determinar la máxima demanda en el consumo de vapor en la empresa San Jacinto para un máximo incremento de la potencia efectiva.
- ✓ Evaluar el ahorro energético y económico en el incremento de la potencia efectiva en función al bagazo disponible.

1.6 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

La hipótesis que se plantea al problema formulado es la siguiente:

“Utilizando el bagazo disponible la Potencia Efectiva se incrementa en un 200% del Sistema de Cogeneración –Agroindustrias San Jacinto S.A.A.”

1.7 IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

- ✓ Variable Independiente:

Bagazo Disponible.

- ✓ Variable Dependiente:

Potencia Efectiva del Sistema de Cogeneración.

1.8 DIMENSIONES E INDICADORES

- ✓ Dimensiones e Indicadores de la Variable Independiente:

Flujo másico del vapor del bagazo (Ton/h)

Presión de vapor (Bar)

Potencia de la caldera (HP)

- ✓ Dimensiones e Indicadores de la Variable Dependiente:

Potencia efectiva del turbogenerador (MW)

Potencia máxima demandada de la empresa Agroindustrial San Jacinto (MW)

Exceso de potencia cogenerada (MW)

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

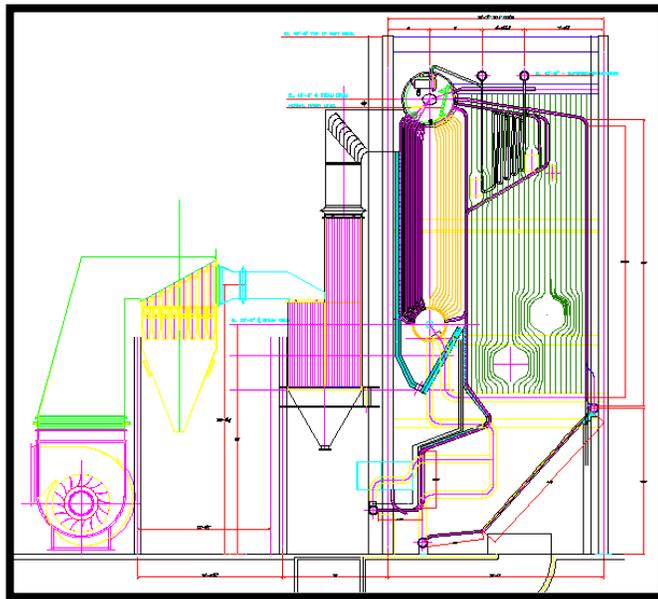
2.1 CALDERA (CALEFACCIÓN)

El término caldera se aplica a un dispositivo para generar vapor para procesos industriales, calefacción, para uso general o para generación de energía eléctrica. Para facilitar la comprensión a la caldera se le considera un generador de vapor en términos generales.

Las calderas para producción de vapor, por el contenido de los tubos, se clasifican en calderas pirotubulares en ellas el fuego o los gases de combustión pasan por el interior de los tubos y el agua está en el exterior.

En las calderas acuotubulares el agua pasa por el interior de los tubos y los gases calientes, producto de la combustión, pasan por el exterior a fin de transferir el calor necesario para elevar la temperatura y llevar a su punto de ebullición dicho líquido, **ver la figura 1** siguiente donde se hace un esquema donde se visualizan las partes más importantes de una caldera acuotubular de dos domos, caso típico de la planta termoeléctrica en mención.

FIGURA N° 01: Caldera Acuotubular Foster Wheeler



Fuente: Departamento de Ingeniería – Agroindustrias San Jacinto

2.2 COMBUSTIÓN DEL BAGAZO

El proceso básico de combustión es una forma especial de oxidación en el que el oxígeno del aire se combina con elementos combustibles, que generalmente son carbono, hidrógeno y en menor escala azufre. Se necesita una mezcla adecuada de combustible y aire, así como una temperatura de ignición para que el proceso de combustión continúe, las reacciones químicas deben satisfacer condiciones para que tenga lugar el proceso de combustión:

- ✓ Es necesaria una adecuada proporción entre combustible y oxígeno con los elementos combustibles, como demuestran las ecuaciones químicas.
- ✓ La mezcla de combustible y aire debe de llevarse a cabo, de modo que una mezcla uniforme esté presente en la zona de combustión y así cada partícula de combustible tenga aire alrededor para ayudar a la combustión.
- ✓ La temperatura de ignición se establecerá y será monitorizada de forma que el combustible continúe su ignición sin calor externo cuando la combustión arranque.
- ✓ Los elementos fundamentales que producen calor en los combustibles son el carbono, el hidrógeno y sus compuestos; el azufre cuando se oxida rápidamente, es también fuente de alguna energía térmica, pero su presencia en los combustibles presenta efectos nocivos.

2.3 MATERIA PRIMA - BAGAZO

El bagazo es el subproducto o residuo de la molienda de la caña de azúcar, en él permanecen el jugo residual y la humedad provenientes del proceso de extracción. El bagazo producido, que equivale aproximadamente a una tercera parte de la caña molida, se utiliza como combustible para la generación de vapor y potencia eléctrica. Según Hugot, el poder calorífico superior seco del bagazo varía muy poco para las diversas variedades de caña y propone un valor medio de PCSS= 8364 BTU/lb de bagazo seco libre de ceniza, pero el bagazo nunca está libre de ceniza; en el caso de un bagazo con 52% de humedad y 15% de ceniza (sobre la base de materia seca) el valor calorífico es 3357 BTU/lb de bagazo húmedo, el poder calorífico real del bagazo quemado en la parrilla depende de la humedad presente.

2.3.1 COMPOSICIÓN QUÍMICA

El bagazo, fibra residual de la caña de azúcar después de la molienda, es un combustible natural para producir vapor en las fábricas azucareras. El rango de densidad varía entre 120-160 kg/m³. Este consiste de fibra, agua, sólidos solubles y cenizas pero es importante conocer su composición química que afecta su uso como combustible. Y su composición química del bagazo es la siguiente:

- ✓ Carbono (47%)
- ✓ Oxígeno (44%)
- ✓ Hidrógeno (6.5%)
- ✓ Cenizas (2.5%)
- ✓ Agua (50%)

2.3.2 USO Y APLICACIONES

La Fundación para la Investigación del Azúcar ha desarrollado información sobre el bagazo como materia prima para la fabricación de productos comerciales, tales como **el papel** que la fábrica de pulpa es 100% de bagazo más grande del mundo produce 300 TN de pulpa blanqueada por día. Los estudios sobre la fabricación de papel a partir del bagazo se remontan a 1834, pero no fue sino hasta los últimos 50 años que la compañía W.R. Grace obtuvo un éxito comercial con pleto en Perú. La pulpa del bagazo se utiliza hoy en día en casi todas las clases de papel, incluyendo bolsas, envolturas, para imprimir, de escritura, papel higiénico, pañuelos faciales, toallas, papel cristal, semicorrugado, cartón para forro y para papel periódico.

2.4 CANTIDAD DE FIBRA DEL BAGAZO

Si la fibra en caña es insuficiente y la humedad del bagazo es alta, es posible que dé como resultado, que en algunas fábricas de azúcar, que tienen baja eficiencia en calderas por otras causas, que no sean capaces de producir el bagazo suficiente para la producción del vapor que necesitan.

Los valores extremos del contenido medio de fibra en la caña se encuentran entre el 10% y 16%; pero generalmente caen entre el 12 y 14 %.

2.5 PODER CALORÍFICO DEL BAGAZO

El poder calorífico o potencia calorífica de un combustible, es la máxima cantidad de calor que se puede obtener de él cuando se quema en forma completa y sus productos son enfriados hasta la temperatura original de la mezcla aire-combustible. La principal característica de un combustible es su poder calorífico o potencia calorífica, a la cantidad de calor en kJ desprendida al quemar totalmente 1 kg de bagazo. Existen dos tipos de poder calorífico que son:

- ✓ El poder calorífico inferior (PCI) indica la cantidad de calor que puede proporcionar el combustible cuando toda el agua en los productos permanece como vapor.

$$PCI = 17371 - 31.4 * A - 199 * W \quad (1)$$

- ✓ El poder calorífico superior (PCS) refleja el calor que puede liberar el combustible cuando toda el agua en los productos condensa.

$$PCS = 19046 - 41.86 * A - 188.36 * W \quad (2)$$

Dónde:

w = Humedad del bagazo (%)

A = Exceso de aire (%)

2.6 HUMEDAD DEL BAGAZO

El contenido de humedad del bagazo varía según la velocidad y la eficiencia de la molienda. En los lugares extranjeros como las Antillas el promedio es del 48 al 50 % y los ingenios más modernos obtienen cifras que llegan al 45 %, en Hawái el contenido de humedad frecuentemente llega al 40 % y menos a veces, debido a que muelen a velocidades mucho más lentas, en Colombia el contenido de humedad del bagazo está entre el 50 % al 52 %, durante las pruebas de balance térmico el promedio de humedad del bagazo osciló entre 49.36 % hasta 53.26 % o sea muy por encima de la media que es entre 48 y 50%.

La humedad del bagazo que ingresa a las calderas es menor (alrededor del 50.96 %), debido a la evaporación que tiene al permanecer en la pila de almacenamiento, y también al efecto de secado que se logra con el uso de agua caliente en la maceración, con el objeto de elevar la extracción de sacarosa, extracción que no se puede lograr con agua fría; pero el uso de agua caliente no solamente asegura la obtención del jugo tibio, sino

que incrementa la temperatura del bagazo sobre la temperatura ambiente, lo cual tiene dos efectos beneficiosos:

- ✓ Un secado parcial del bagazo.
- ✓ Una temperatura elevada del bagazo a la entrada del caldero, lo cual significa incremento del valor calórico normal del bagazo a través de la reducción de la diferencia de la temperatura entre el agua que ingresa con el bagazo y la temperatura de evaporación del agua en la caldera.

2.7 CALIDAD DEL BAGAZO

La calidad del bagazo está relacionada con la maceración, el porcentaje de fibra y el porcentaje que representa la cantidad de azúcar en solución con el agua presente en el bagazo.

La presencia de azúcar en la caña es favorable, ya que implica, que la caña es de buena calidad por su alto contenido de sacarosa; en cambio en el bagazo indica pérdidas de azúcar, por lo que se debe tratar de que su contenido sea el menor posible, y su valor puede oscilar entre el 2 y el 4 %; mientras que la cantidad de bagazo en caña varía entre 24 y 28 % del peso de la caña, aproximadamente $\frac{1}{4}$, de esta manera puede calcularse que la cantidad de bagazo que puede esperarse de una tonelada de caña es de aproximadamente 250 Kg.

2.8 CONDUCTORES DE BAGAZO

El bagazo se lleva directamente de la salida del sexto molino a las calderas por conductores de bagazo, aproximadamente la tercera parte del total de bagazo producido es desviado por transportadores de arrastre y utilizado en la caldera para la generación de energía eléctrica.

Para el transporte de bagazo, la planta térmica cuenta con 6 conductores de bagazo que son de dos tipos; son construidos básicamente de estructura metálica y se mueven por medio de motores reductores que les transmite movimiento a través de un mecanismo de sprocket y cadena, el cual mueve un eje motriz que da movimiento a la cadena de arrastre y tablillas que realizan el transporte de bagazo. El otro tipo de conductor es conocido

como faja conductora de bagazo y consiste en una banda de hule que circula sobre rodillos y que obtiene su movimiento por medio de un motor reductor.

El bagazo transportado pasa entonces de los conductores a los alimentadores de bagazo por medio de ductos, estos equipos hidráulicos rotatorios constituidos por tambores movidos mecánicamente descargan el bagazo a través de un chifle en cuyo fondo un flujo de aire caliente empuja las partículas de bagazo hacia el hogar; las partículas más finas se secan y queman al caer y las más gruesas arden sobre la parrilla. Estos dispositivos automáticos regulan la cantidad de bagazo alimentado a la caldera, dependiendo de las condiciones de operación de la planta termoeléctrica.

Estos transportadores de velocidad variable operan de forma conjunta con un equipo automático manteniendo una alimentación uniforme, una adecuada relación aire combustible y una buena eficiencia de la caldera. Parte del bagazo transportado por los conductores no es utilizado en la caldera ya que el porcentaje de bagazo quemado en el hogar depende de la razón de generación de energía eléctrica, la capacidad de molienda en el ingenio y el volumen almacenado, por lo que el excedente es almacenado en un área denominada bagacera.

2.9 SISTEMA DE EXTRACCIÓN Y EVAPORACIÓN DEL JUGO

2.9.1 EQUIPOS DE EXTRACCIÓN DE JUGO DE CAÑA

La extracción del jugo se lleva a cabo en los molinos y consiste en la compresión de la fibra de caña entre cilindros de gran tamaño llamados mazas.

2.9.2 MACHETES Y DESFIBRADOR

Son equipos que alrededor de su eje llevan instaladas cuchillas las cuales son usadas para cortar la caña, que va ingresando como materia prima, en tamaño y proporción adecuada antes de ingresar al desfibrador y luego a los molinos.

2.9.3 MOLINOS

Son estructuras compuestas por Vírgenes (bases metálicas que brindan el soporte a los ejes que mueven las mazas). Cada molino posee 3 mazas. Los molinos se

colocan de forma tal que la fibra que sale de un molino sea acarreada por un conductor intermedio y entra a un siguiente molino, de esta manera se logra extraer la mayor cantidad de sacarosa que contiene la fibra. Estos arreglos de molinos se conocen como Tándem de Molinos.

2.9.4 MAZAS

Son cilindros acanalados contruidos de hierro fundido y acero con un peso de aproximadamente 10 toneladas. La compresión de la caña se da por el propio peso de las masas y por la presión que ejerce un pistón sobre la masa superior, la cual varía de 1800 PSI en el primer molino hasta 3200 PSI en el quinto molino aproximadamente. La apertura entre las masas se regula de modo que la salida sea menor que la entrada. Las aperturas en los diferentes molinos se calculan a partir de diversas variables como lo son: cantidad de caña molida por hora, porcentaje de fibra de caña, cantidad de agua de imbibición, tamaño de molinos, entre otros. Este cálculo es conocido como “Seting de Molinos”.

Las mazas son accionadas por turbinas a vapor de alta presión. La caña esta prensada y el jugo son extraídos por separado. Este jugo es concentrado y cocido hasta obtener la cristalización del azúcar. Como residuo, del trapiche sale un producto que se llama bagazo, el cual se puede usar como combustible en las mismas calderas o como venta de materia prima para la elaboración de papel.

El proceso continúa y posteriormente se logra moler 3.000 Tn/día como molienda promedio. Para un mejor proceso de extracción del jugo y sacarosa se emplea agua de imbibición que es inyectado a presión directo a los molinos están trabajando. El jugo es recolectado en recipientes y luego es bombeado hacia el área de elaboración para que continúe el proceso.

2.10 EQUIPOS DE EVAPORACIÓN

2.10.1 EVAPORACIÓN

El jugo clarificado contiene del 15 al 20% de sólidos, según la concentración del jugo original de la caña y el procedimiento de maceración empleado. Para conseguir la formación de cristales de azúcar el jugo debe ser concentrado hasta el estado de mieles. Para alcanzar tal condición es necesario eliminar la totalidad del agua presente.

En la Evaporación, por medio de intercambio de calor con vapor de baja presión (20 PSI), el jugo se concentra en un jarabe de uso llamado Meladura (no saturado). El proceso se da en varias etapas. Es común el uso de 5 cuerpos de evaporación dispuestos en serie en los cuales el jugo fluye por diferencia de presión en los cuerpos.

2.10.2 EVAPORADORES

El evaporador consiste en un intercambiador de calor de gran tamaño dotado de espejos en su nivel medio e inferior y de tubos verticales que conforman el área de calefacción en que el jugo en la parte interna de los tubos recibe el calor proporcionado por vapor de baja presión que fluye externamente. Como se mencionó anteriormente, el flujo del jugo por los diferentes cuerpos se da por diferencia de presión.

2.10.3 TACHOS

Son evaporadores al vacío de efecto sencillo diseñados para la manipulación de materiales viscosos. Al igual que los evaporadores se componen de un cuerpo provisto internamente de tubos verticales soportados por espejos en sus extremos.

El tacho es un cristizador evaporativo en el que el grado de sobresaturación se controla y se mantiene por medio de la evaporación del disolvente, en tanto que el material disuelto cristaliza.

2.11 SISTEMAS DE COGENERACIÓN

El sistema de cogeneración más simple y adecuado para instalar en una planta azucarera es uno con turbina de vapor, ya que se requiere de una caldera para evaporar el agua. A la caldera ingresa agua y bagazo, el cual al ser quemado libera calor que es transferido al agua para transformarla en vapor. Dicho vapor que se encuentra a alta presión pasa a través de turbinas, una que genera la potencia mecánica para accionar los dispositivos de la planta, y la otra para la generación eléctrica. Las turbinas disminuyen la presión del vapor, para que sea utilizado en la producción de azúcar y/o etanol.

El sistema de producción conjunta de electricidad o energía mecánica y energía térmica útil. Este sistema de generación conjunta de energía reduce notablemente la factura energética de las empresas y mejora el proceso productivo. Las plantas de cogeneración alcanzan niveles de rendimiento muy altos, generando electricidad y calor simultáneamente.

El aprovechamiento del calor residual, los sistemas de cogeneración presentan rendimientos globales del orden del 85%, lo que implica que el aprovechamiento simultáneo de electricidad y calor favorezca la obtención de elevados índices de ahorro energético, así como una disminución importante de la factura energética, sin alterar el proceso productivo, ahorro energético que se incrementa notablemente si se utilizan energías residuales. Y sus ventajas de la cogeneración son las siguientes:

- ✓ Ahorra energía y mejora la seguridad del abastecimiento.
- ✓ Disminuye las pérdidas de la red eléctrica, especialmente porque las centrales de cogeneración se suelen situar próximas a los lugares de consumo.
- ✓ Aumenta la competencia entre los productores.
- ✓ Permite crear nuevas empresas.
- ✓ Se adapta bien a las zonas aisladas o ultraperiféricas

Los proyectos de cogeneración se suelen representar, típicamente, por dos tipos básicos de ciclos de potencia: los de tipo superior y los de tipo inferior, siendo el ciclo de tipo superior el que presenta las más amplias aplicaciones industriales.

a) **Ciclo de Potencia de Tipo Superior**

Utiliza la fuente de energía primaria para generar la energía eléctrica o mecánica y después, el calor desechado, en forma de energía térmica útil, se aplica al proceso. El ciclo se consigue con un generador de turbina con combustión, con los gases de escape de la turbina dirigidos hacia una caldera de recuperación de calor de desecho que convierte el calor de las fases de escape en vapor que acciona una turbina de vapor, extrayendo vapor al proceso, mientras que acciona un generador eléctrico. Este ciclo se conoce como un ciclo combinado.

Los generadores de turbina por combustión, los conjuntos de generador de turbina con vapor y los generadores alternativos de máquina de combustión interna son representativos de los principales equipos componentes utilizados en un ciclo de tipo superior.

b) **Ciclo de Potencia de Tipo Inferior**

La fuente de energía primaria se aplica a un proceso de calentamiento útil y el calor de desecho del proceso se usa después para generar energía eléctrica. El ciclo inferior común dirige el calor de desecho de un proceso hacia una caldera de recuperación de calor de desecho que convierte esta energía térmica en vapor que es suministrado a la turbina de vapor extrayéndolo hacia el proceso y generando también energía eléctrica.

2.11.1 VENTAJAS DE LA COGENERACIÓN

Se considera a la cogeneración como la producción conjunta de dos tipos distintos de energía, sin embargo, en el presente trabajo, se empieza a considerarla únicamente como la producción de electricidad y luego de vapor, ya que será el sistema estudiado y el que más aplicación tiene en plantas industriales. Por este motivo, es muy frecuente usar las siglas CHP (Combined Heat and Power) para un sistema de cogeneración industrial.

Dentro de los **aspectos positivos** de cogenerar a nivel industrial se tiene:

- ✓ El uso de una sola fuente de energía para generar dos distintas, implica un ahorro económico para los propietarios, ya que sin sistema de cogeneración deberían gastar en combustible para generar vapor en las calderas y pagar por la electricidad consumida.

- ✓ Si se considera los sistemas de turbinas de gas y de vapor, se puede afirmar que la eficiencia del sistema aumenta considerablemente, porque la relación de salida deseada (electricidad y vapor) con entrada requerida (combustible) es mucho mayor que si se generara un solo tipo de energía. Además, el rendimiento termodinámico de los procesos aumenta, en caso se utilice un ciclo combinado, ya que el trabajo mecánico es mayor respecto a un ciclo simple.

- ✓ Al generar una empresa su propia electricidad, tiene el beneficio de evitar los problemas que trae la transmisión y distribución eléctrica, como no tener las pérdidas por efecto joule y las caídas de tensión que se suelen dar en las líneas de transmisión, aparte de no contar con compensadores que regulen los niveles de tensión.

- ✓ Otro aspecto importante se da en la conservación del medio ambiente, ya que un sistema de cogeneración reduce en gran medida la contaminación que producen los sistemas convencionales, ya que las emisiones de dióxido de carbono disminuyen entre 30 y 40%, ya que la temperatura de los gases de escape a la salida de las turbinas oscila entre 500 y 600°C, y con un proceso de cogeneración que implica generar vapor a partir de estos gases, las temperaturas se reducen hasta 300 o 400°C y al expulsarse a la atmósfera producen un impacto menor.

- ✓ Desde el punto de vista del uso eficiente de la energía, la cogeneración se convierte en una alternativa importante e innovadora para conservar los recursos energéticos ya que se está generando energías distintas a partir de una fuente única.

- ✓ La cogeneración también puede ser concebida como una alternativa de política energética para los países, ya que cada nación atraviesa una proliferación o aumento de demanda de electricidad por el crecimiento de

población, por lo que se hace necesario contar con un mayor número de centrales generadoras de electricidad. De esta forma, si las industrias cogeneran disminuirían la necesidad de instalar nuevas centrales generadoras.

- ✓ En ciertos países, en su mayoría europeos, ante problemas energéticos optan por pagar primas a aquellas empresas que cogeneren, por las razones antes mencionadas. De este modo, se puede tener un ingreso económico adicional para los cogeneradores.

Una última ventaja que se puede mencionar como aspecto general es que cogenerar no es tan complicado, por lo que cualquiera puede acceder a convertirse en cogenerador, sin necesidad de tener una planta industrial, ya que se puede formar parte de la llamada generación distribuida.

2.11.2 DESVENTAJAS DE LA COGENERACIÓN

La cogeneración se presenta como un proceso bastante favorable, sin embargo, como todo sistema tiene algunos **aspectos negativos**, entre ellos se tiene:

- ✓ La implementación de un sistema de cogeneración tiene como primer obstáculo el costo de la inversión a realizar, ya que requiere de un número mayor de componentes.
- ✓ Se debe mencionar el diseño y sus criterios para cogenerar, así como el espacio requerido para componentes y el tiempo de instalación, ya que no siempre es inmediato en las plantas industriales donde son de grandes flujos y potencias.
- ✓ Al tener mayor número de componentes, se deberá implementar nuevos programas de mantenimiento y operación.
- ✓ En cuanto al aspecto eléctrico, se debe regular que los niveles de tensión sean los deseados y cuidar el factor de potencia de la planta, para no descuidar el rendimiento eléctrico.

Si se generalizan las desventajas, se podría resumir que el motivo para no cogenerar pasa por el tema económico, sin embargo, es importante indicar que, por experiencia de plantas cogeneradoras, los gastos de inversión se compensan con los ahorros económicos mencionados en las ventajas, es decir que en un tiempo prudente se puede recuperar el dinero invertido; por lo que cogenerar se constituye en una alternativa muy viable, al ser las ventajas muy superiores en comparación con las desventajas.

2.11.3 PRODUCCIÓN DE VAPOR

En todo ingenio azucarero es importante la producción de vapor debido a que se lo utiliza en la generación eléctrica y en la producción de azúcar. Por lo que es indispensable el uso de calderas que proporcione un flujo de vapor a presión y temperatura constante. A nivel de ingenios azucareros se manejan distintas presiones de vapor de operación para calderas, describiremos para nuestro caso calderos que operan a 600 PSI.

2.12 PROCESO DE COGENERACIÓN EN AGROINDUSTRIAS SAN JACINTO

La Cogeneración es el proceso de producción en forma simultánea y combinada de energía eléctrica y energía térmica útil (vapor o agua caliente) vapor para procesos en forma simultánea para su autoconsumo. Pudiendo en muchos casos según la normativa de cada país comercializar sus excedentes de energía eléctrica a la red principal de suministro de energía o al mercado eléctrico. Este proceso se aprovecha tanto el calor en una caldera para generar vapor del cual se convertirá en energía mecánica y eléctrica de un único proceso, con esto se ahorra en comprar toda la energía eléctrica al suministrador externo y se aprovecha el calor residual en los procesos, lo cual es muy importante porque se genera:

- ✓ Ahorro de Energía Primaria.
- ✓ Reducción de costos de energía.
- ✓ Reducción de emisiones gaseosas al medio ambiente.
- ✓ Autonomía en el abastecimiento de la energía eléctrica.
- ✓ Suministro de Energía de calidad.

2.13 IMPORTANCIA DE LA COGENERACIÓN

✓ Ahorro de Energía Primaria.

Al reducirse el consumo de fuentes fósiles, ya que en la cogeneración se utiliza una única fuente, de energía para producir simultáneamente calor y energía eléctrica. Lo que a través de sistemas convencionales por separado es necesario usar una fuente de energía primaria.

✓ Disminución de Costos Operativos.

En general una planta de cogeneración producirá una energía que será siempre más económica que la obtenida de la red eléctrica. La razón de ello está que su consumo específico será siempre inferior al de una planta de energía convencional que no pueda sacar provecho de sus efluentes térmicos (es decir, la generada por las grandes centrales termoeléctricas). El mayor o menor ahorro dependerá, en cualquier caso, de políticas de subsidio a las tarifas de la energía eléctrica que pueda tomar el Estado en determinadas circunstancias.

✓ Reducción de las Emisiones

La cogeneración reduce la emisión de contaminantes, debido principalmente a que es menor la cantidad de combustible que consume para producir la misma cantidad de energía útil, además los sistemas de cogeneración utilizan tecnologías más avanzadas y combustibles más limpios como el gas natural.

2.14 CONFIGURACIONES DE LAS CENTRALES DE COGENERACIÓN.

Para cada tipo de sistema de cogeneración, pueden diseñarse muchas configuraciones diferentes con el equipo que se tenga disponible. La configuración del sistema necesario depende de las características específicas de la instalación, como:

✓ Tamaño de la planta.

✓ Tipo de combustible.

✓ Calor del proceso o temperatura del vapor y requisitos del proceso.

✓ Limitaciones de emisión.

✓ Factores económicos.

2.15 BENEFICIOS DE LA COGENERACIÓN

- ✓ En los sistemas de cogeneración la energía empleada para generar la energía eléctrica y térmica es mucho menor a la utilizada en los sistemas convencionales de generación de energía eléctrica y térmica por separado.
- ✓ En los sistemas de cogeneración se llega a aprovechar 85 % de la energía contenida en el combustible para la generación de energía eléctrica y calor.
- ✓ Este proceso permite que el combustible que se agregue a un proceso, para generar energía eléctrica por cogeneración, sea mucho menor que el usado en las plantas convencionales de generación de energía eléctrica para la misma generación, lo cual evidencia ahorro en cuanto a la energía primaria, reducción de emisiones contaminantes, en particular los gases de efecto invernadero.
- ✓ Además, el uso eficaz de la energía mediante la cogeneración puede también contribuir positivamente a la seguridad del abastecimiento energético.
- ✓ El uso cada vez mayor de la cogeneración orientada al ahorro de energía primaria podría constituir una parte importante del paquete de medidas necesarias para cumplir el Protocolo de Kyoto de la Convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático, y de cualquier otro paquete de políticas para cumplir nuevos compromisos.

2.16 RECOMENDACIONES PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE COGENERACIÓN

Para poder realizar un análisis energético del sistema de cogeneración descrito, se debe asegurar que todos los componentes del sistema tengan un funcionamiento óptimo, o al menos correcto, es decir, que no presenten fallas y que trabajen en ciertos rangos o límites de operación. Este aspecto es muy importante ya que el desarrollo del presente trabajo se hará bajo esas condiciones. Por este motivo, las principales precauciones que se deben tener en la operación del sistema son las siguientes:

- ✓ Procurar que la presión a la salida de la turbina sea lo más baja posible, y la presión de entrada de vapor la mayor posible.
- ✓ No mantener caudales bajos de vapor, ya que si la planta tiene turbinas de extracción, con pequeños caudales, la presión de extracción puede ser menor a la deseada.
- ✓ Controlar la temperatura de entrada de vapor a la turbina, para evitar entrada de agua o formación de gotas en el escape, que a la larga dañan los álabes de la turbina por erosión.
- ✓ Controlar la calidad de vapor a la salida de la turbina, idealmente el vapor de salida debería ser vapor saturado, sin embargo no siempre se cumple, y es mejor que sea vapor sobrecalentado que una mezcla bifásica (líquido-vapor).

2.16.1 PAUTAS PARA LA CALDERA

Las fallas más comunes que pueden presentarse en una caldera son:

- ✓ Fugas en válvulas, especialmente las que regulan el flujo de vapor.
- ✓ Fallos en sus lazos de control, que pueden ser de caudal o de temperatura.
- ✓ Fugas de vapor y agua por tuberías externas.
- ✓ Corrosiones internas que generan roturas en los haces de tubos.
- ✓ Obstrucción de filtros.
- ✓ Fallo en bombas de alimentación.
- ✓ Deterioro del material aislante.
- ✓ Fallos relacionados con la calidad de agua.

Además de verificar con cierta regularidad los aspectos mencionados, se pueden realizar pruebas funcionales como mediciones de caudal, presión, y temperatura del vapor saturado a la salida del evaporador y del vapor sobrecalentado a la salida de la caldera. También medir contenido de silicio, hierro, potasio, cobre y oxígeno.

2.16.2 PAUTAS PARA LA TURBINA

Los más frecuentes inconvenientes que se pueden suscitar en el funcionamiento de la turbina son:

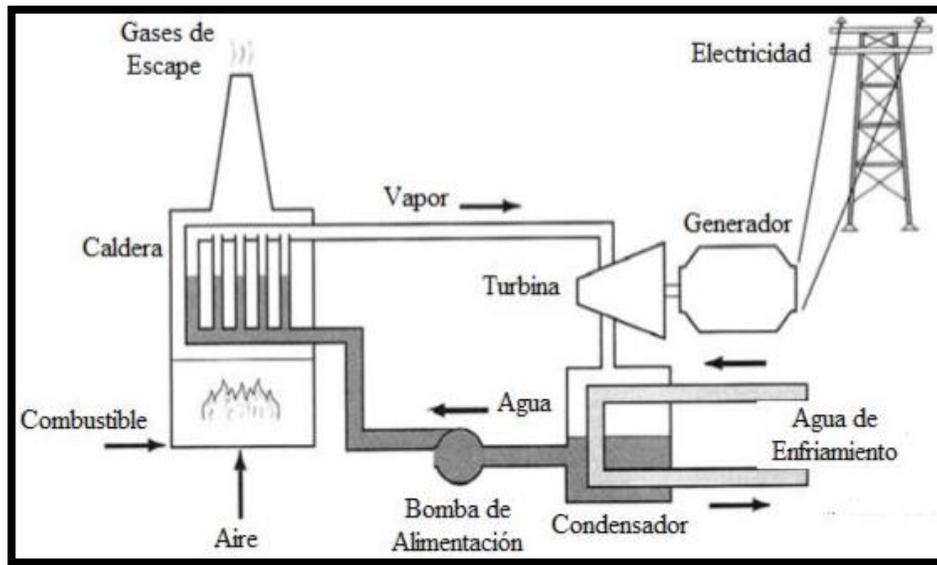
- ✓ Alto nivel de vibraciones, en el eje, reductor, alternador, etc.
- ✓ Desplazamiento excesivo del rotor por mal estado de cojinetes.
- ✓ Fallos en instrumentación o sistemas de control.
- ✓ Fuga de vapor.
- ✓ Funcionamiento incorrecto de la válvula que regula ingreso y salida de vapor.
- ✓ Dificultad en el proceso de sincronización, es decir, en conseguir velocidades de rotación iguales entre eje de la turbina y alternador.

En cuanto a las pruebas funcionales que se pueden realizar a la turbina, se tiene: medición de potencia a máximo caudal, potencia eléctrica para caudales menores, medición de temperaturas y presiones a la entrada, en las extracciones y a la salida de la turbina, además el tiempo de aceleración desde el arranque hasta que alcanza su velocidad de rotación nominal.

2.17 SISTEMA DE COGENERACIÓN CON TURBINA DE VAPOR

Los ciclos de vapor son usados, para la generación de energía eléctrica. Se caracterizan por ser sistemas cerrados donde el fluido de trabajo es agua que va cambiando de fase a lo largo del proceso. Sus componentes básicos son caldera, turbina, condensador y bomba, los cuales están representados en la figura N°02.

FIGURA N°02: Sistema de Turbina de Vapor



Fuente: Análisis Energético de un Sistema de Cogeneración con Ciclo Combinado y Gasificación para la Industria Azucarera

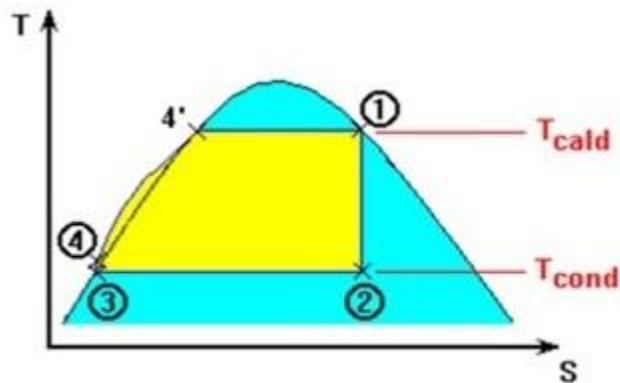


Diagrama T-S de ciclo de vapor

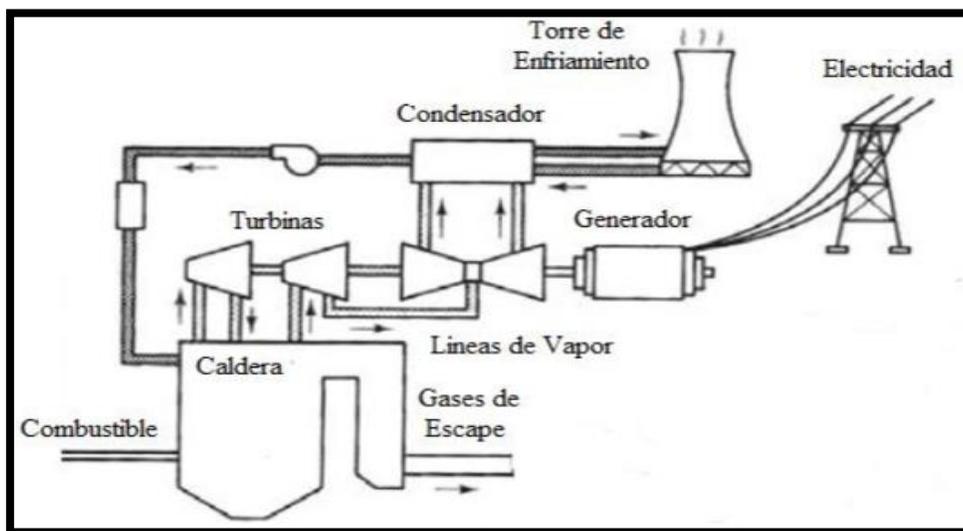
La bomba de alimentación se encarga de transportar el agua hacia la caldera, además de aumentar su presión. En la caldera es quemado el combustible con el aire, la cual cede el calor suficiente al agua para que se evapore y aumente su temperatura. A diferencia del ciclo anterior, la turbina de gas mezcla aire y combustible, mientras que la turbina de vapor no lo hace, sino que la transferencia de calor se da por convección, es decir el agua circula por el interior de un haz de tubos, mientras que los gases de combustión circulan exteriormente a ellos. El vapor sobrecalentado atraviesa la turbina, quien se encarga de generar la energía eléctrica. Al ser un ciclo cerrado, el vapor a la

salida de la turbina, que ha disminuido su presión y temperatura, es llevado a un condensador para retornar a la fase líquida. En el condensador, la energía térmica extraída es cedida a una corriente de agua fría, para luego ser desechada a una fuente térmica.

Este ciclo también se aplica en cogeneración, usado para producir electricidad y vapor, que cubran las demandas de una planta. Es importante mencionar que en estos sistemas, lo que se consideraba antes como turbina, realmente son dos: una turbina de condensación y otra de contrapresión, para que la primera pueda extraer vapor a una cierta presión y sea utilizado en la planta, mientras que la segunda, principalmente, para accionar el alternador.

Otra particularidad que tienen estos sistemas es que la corriente de agua fría que absorbe el calor cedido en el condensador se lleva a una torre de enfriamiento, con el propósito de disminuir la contaminación térmica, ya que el agua desechada a la fuente no tendrá temperaturas altas. Dicho sistema de cogeneración está representado en la figura N°03.

FIGURA N°03: Sistema de Cogeneración con Turbina de Vapor.



Fuente: Análisis Energético de un Sistema de Cogeneración con Ciclo Combinado y Gasificación para la Industria Azucarera

Este sistema de cogeneración tiene un proceso de instalación más complicado que el anterior, ya que requiere de mayor número de componentes. Su rendimiento termodinámico está en el rango de 35 y 45%. Sin embargo es ligeramente superior a un ciclo de gas. Los rangos de potencia generada son variados.

Otro aspecto positivo es el uso de biocombustibles, además que puede tener un control mayor sobre la energía producida porque el vapor extraído de la turbina está a una presión intermedia respecto a todo el proceso, la cual puede ser seleccionada.

2.18 BOMBAS DE AGUA DE ALIMENTACIÓN

Todas las bombas centrífugas están diseñadas para operar con líquidos, siempre que se formen mezclas de líquido y vapor o aire, pueden esperarse daños para la vida de los elementos rotativos. Si el líquido está a una temperatura elevada o el vapor está presente en el agua de alimentación de la caldera, puede ocurrir una destrucción rápida de la carcasa o envoltente de la bomba. Para el suministro agua de alimentación la caldera utiliza una bomba centrífuga principal impulsada por un motor eléctrico de corriente trifásica, ésta bomba es la encargada de abastecer de agua a la caldera en operación normal, tiene una capacidad de operación de 600 galones de agua por minuto a una presión de descarga de 1500 psi y con una temperatura de 320°F, ésta tiene un sistema de regulación de presión para evitar elevadas presiones en la línea de descarga.

Además, se dispone de una segunda bomba centrífuga esta tiene una capacidad de 600 galones por minuto de agua a una presión de descarga de 1200 psi y con una temperatura de 320°F. Esta bomba es utilizada como repuesto previendo cualquier falla mecánica o eléctrica de la bomba principal o mantenimiento de rutina; como cambios de aceite, inspección de cojinetes o simplemente trabajar la caldera a baja carga y presiones donde la demanda de agua es limitada. Como medida de protección para la caldera se cuenta con una bomba de emergencia cuya capacidad es de 100 galones por minuto de agua y una presión de descarga de 1000 psi a una temperatura de 90°F.

2.19 DESCRIPCIONES RELEVANTES

2.19.1 VAPOR DE ESCAPE

Es un vapor que ha cedido la mayor cantidad de energía térmica a la turbina y es usado para procesos de cocimiento por estar en el punto de saturación.

2.19.2 VAPOR VEGETAL

Vapor saturado que desprende el jugo (sacarosa + agua) en el procesos de evaporación, es de menor presión que el vapor de escape.

2.19.3 CONDENSADO

Es vapor que cambio de estado al ceder calor por transferencia en los equipos evaporadores y tachos.

2.20 EQUIPOS PARA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD

2.20.1 TURBOGENERADOR ELÉCTRICO

La presente propuesta cubre el suministro de un turbogenerador de tipo contrapresión, marca TGM/ WEG constituido por una turbina de reacción TGM, modelo BT-40 de múltiple etapas de contrapresión, un reductor de velocidad TGM y generador síncrono WEG, y accesorios, con capacidad para producir 21.7 kW a 13.8 kV, 60 Hz, utilizando vapor sobrecalentado a una presión de 66 Bar y a una temperatura de 510 °C, y presión de escape de 2.50 Bar.

El turbogenerador es una turbina unida a un generador. La turbina es un dispositivo mecánico que transforma una corriente de agua o de gas, a través de unas aspas o álabes, en energía cinética de un eje de giro. Si ese eje giratorio es el de un generador se convierte en energía eléctrica. Se le dice genéricamente "turbogenerador" al generador eléctrico (alternador) de bajo número de pares de polos, es decir, de elevada velocidad de giro (3000 RPM o más), que normalmente son movidos por turbinas de vapor o turbinas de gas (en este caso, generalmente, con un reductor de velocidad).

Equipo utilizado para la generación de energía eléctrica. El término Turbo se aplica en su nombre porque es impulsado por una turbina y el término generador por que el dispositivo impulsado por la turbina, es llamado generador (generador eléctrico), también se le llama grupo turbina a vapor alternador. En el generador, se aprovecha la energía mecánica que entrega la turbina en forma de giro, para convertirla en energía eléctrica por el principio de generación de electricidad de ELECTROMAGNETISMO. En el turbogenerador también se encuentran integrados algunos sistemas auxiliares y complementarios tales como sistema de enfriamiento, sistema de lubricación, sistema de mediciones, tablero del turbogenerador, cada uno de los cuales veremos de manera particular.

FIGURA N°04: Turbogenerador TGM/ WEG 21.7 kW



Fuente: UNI – SYSTEMS – Revisión Técnica San Jacinto

2.20.2 PROTECCIÓN & CONTROLES DEL TURBOGENERADOR

Las protecciones y sistemas de control del grupo turbogenerador son asignados para evitar que el equipo opere fuera de los rangos establecidos por el fabricante, evitando así cualquier condición anormal que pueda dañar la maquinaria y seguridad de los operadores de los equipos. En la mayoría de los casos la protección más adecuada es disparar mecánica o eléctricamente la maquinaria, cuando se tiene una condición anormal y peligrosa.

Además de los disparos electromecánicos, la planta cuenta con un sistema de control de alarmas de monitoreo continuo, estos pueden ser visuales o electrónicos, los cuales suministran información del comportamiento de la planta.

2.20.3 TURBINA DE VAPOR

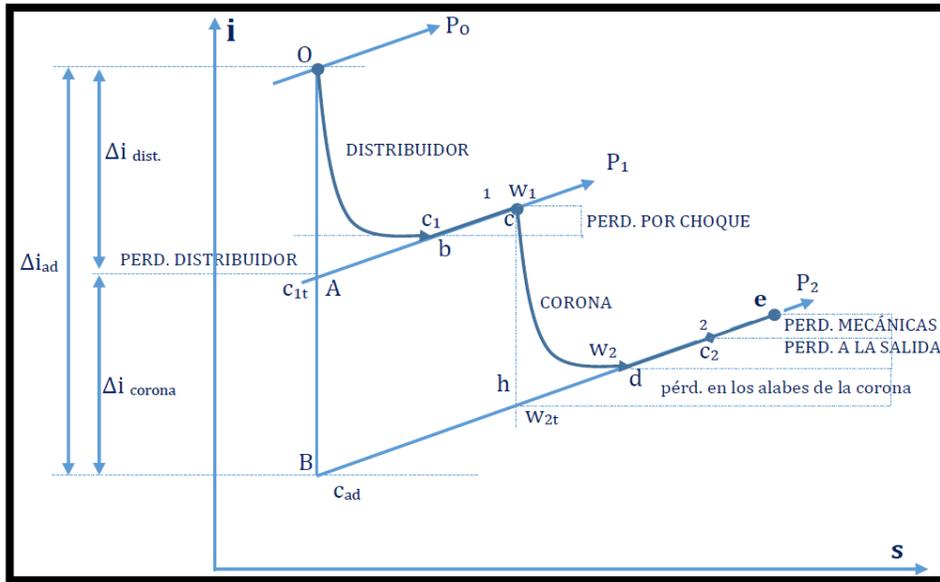
Las turbinas de vapor son turbomáquinas en las que solo se efectúa el proceso de expansión. Sin bien existen turbinas a vapor del tipo radial, la inmensa mayoría es del tipo axial. El fluido de trabajo es comúnmente el vapor de agua, por obvias razones económicas y técnicas. En comparación con otras máquinas alternativas a vapor, de combustión interna ofrecen una mayor relación potencia/ tamaño.

En una turbina de vapor, las toberas y diafragmas se diseñan para dirigir el flujo de vapor a chorros bien formados y a alta velocidad, y ese vapor se expande desde la presión de admisión hasta la de escape. Los álabes convierten la energía cinética del vapor en energía de rotación de flechas. Existen dos tipos principales de turbinas: de **reacción** y de **acción**.

En una **turbina de reacción**, el vapor se expande a presiones menores tanto en los alabes fijos como en los móviles. Los álabes móviles se diseñan para utilizar la energía del chorro de vapor de los alabes estacionarios y para actuar también como toberas. Debido a que son toberas móviles, una fuerza de reacción \pm producida por la caída de presión a través de ellas incrementa la fuerza del chorro de vapor de los alabes estacionarios. Estas fuerzas combinadas causan la rotación.

Para operar eficientemente, la turbina de reacción se debe diseñar para minimizar las fugas en torno a los álabes móviles. Esto se logra al hacer la mayor parte de los intersticios internos relativamente pequeños. La turbina de reacción también suele requerir un émbolo compensador (semejante a los usados en los grandes compresores centrífugos), debido a las grandes cargas de empuje que se generan.

FIGURA N°05: Escalonamientos de Reacción y Pérdidas Correspondientes.

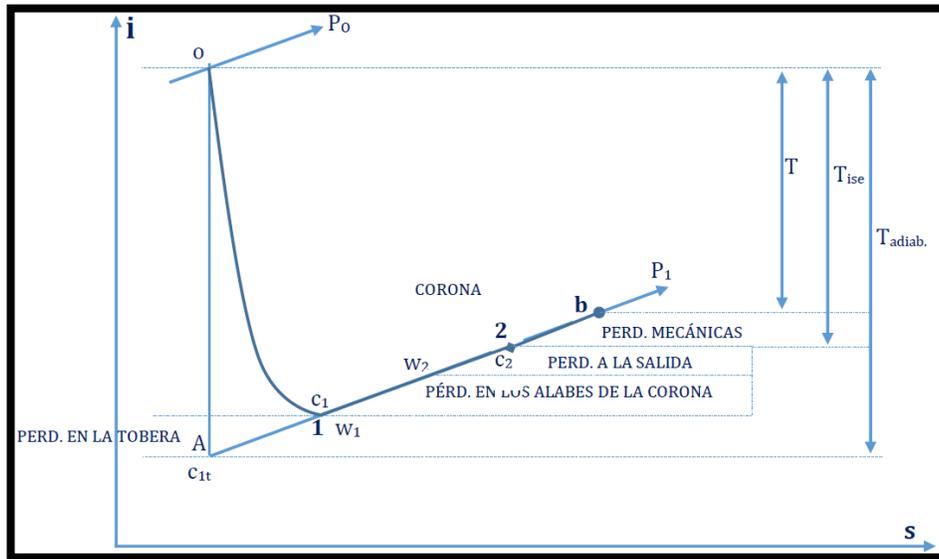


Fuente: Turbinas de Reacción - Pedro Fernández Díez

La turbina de acción tiene poca caída de presión, o ninguna, a través de sus álabes móviles. En estas el vapor se expande a una presión menor en toberas estacionarias alcanzando gran velocidad, luego el vapor fluye en los álabes móviles sin mayor expansión. La energía del vapor se transfiere por completo al rotor por medio de los chorros de vapor que chocan contra los álabes móviles.

Ya que, teóricamente, no se tiene caída de presión a través de los álabes móviles (y, por tanto, no hay reacción), los intersticios internos son grandes y no se necesita émbolo compensador. Estas características hacen que la turbina de acción se una máquina robusta y durable que puede soportar el servicio pesado de las aplicaciones de propulsión mecánica de hoy en día.

FIGURA N°06: Diagrama de un Escalonamiento de la Turbina de Acción



Fuente: Turbinas de Acción - Pedro Fernández Díez

Según el principio operativo se distinguen las turbinas de Acción y de Reacción, tanto de una como de varias etapas. La diferencia fundamental es que en las turbinas de acción no hay cambios de presión en la rueda móvil, obteniéndose el intercambio de energía por el cambio de velocidad absoluta de fluido.

2.21 REDUCTOR DE VELOCIDAD

El reductor de velocidad es de tipo horizontal, ejes paralelos, de una sola etapa, caja bipartida en hierro fundido oportunamente maquinada. El eje piñón integral, el eje de salida y el engranaje de salida son fabricados en acero forjado de aleación especial. Los ejes son montados sobre cojinetes de lubricación forzada.

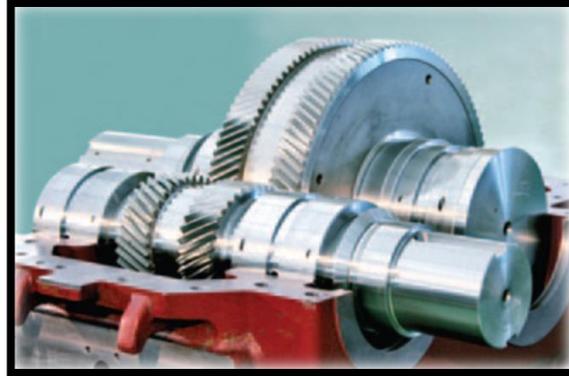
FIGURA N°07: Reductor de Velocidad



Fuente: UNI – SYSTEMS – Revisión Técnica San Jacinto

Los engranajes son de tipo bi-helicoidales, cortados, tratados térmicamente y endurecidos superficialmente por procesos termoquímicos de cementación y nitruración y posteriormente rectificadas por medio de máquinas herramientas de última generación que garantizan un perfecto Engranamiento entre los dientes y bajo nivel de ruido.

FIGURA N°08: Los Engranajes del Reductor de Velocidad



Fuente: UNI – SYSTEMS – Revisión Técnica San Jacinto

2.22 CLASIFICACIÓN DE LAS TURBINAS DE ACUERDO AL USO DEL VAPOR EN EL ESCAPE O VAPOR INTERMEDIO

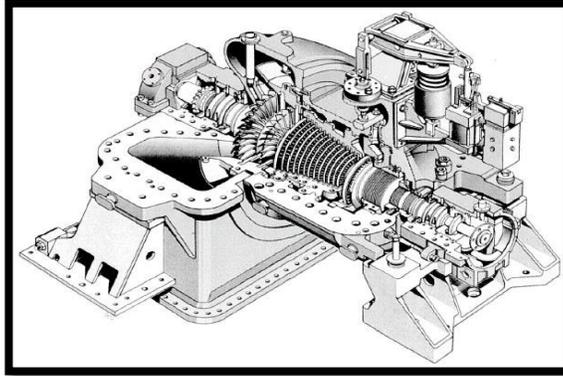
2.22.1 TURBINAS DE DESCARGA ATMOSFÉRICA

Son generalmente de baja potencia, antieconómicas si utiliza agua tratada. No utilizan condensador de salida.

2.22.2 TURBINAS DE CONDENSACIÓN DIRECTA

Son las de mayor tamaño, utilizadas en centrales térmicas. La presión de descarga puede ser inferior a la atmosférica debido a la condensación del vapor de salida.

FIGURA N°09: Turbina de Condensación

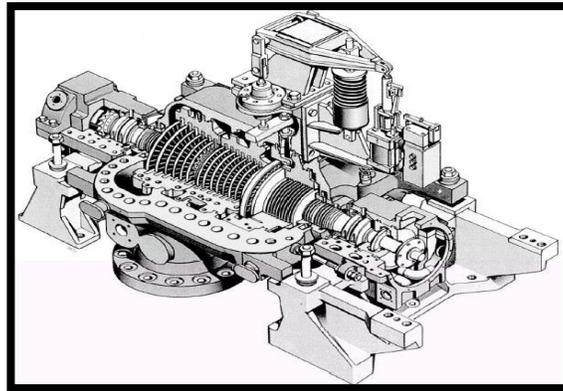


Fuente: Turbinas de Vapor Elementos Constructivos - Pedro Fernández Díez

2.22.3 TURBINAS DE CONTRAPRESIÓN

Se utilizan como expensoras para reducir la presión del vapor generado al mismo tiempo energía. Descargan el vapor a una presión aún elevada, para ser utilizado en procesos industriales.

FIGURA N° 10: Turbina de Contrapresión



Fuente: Turbinas de vapor elementos constructivos - Pedro Fernández Díez

2.23 PROCESO PRODUCTIVO EN EL CAMPO

Las labores de campo las podemos dividir en tres etapas principales: preparación del terreno para la siembra, el período vegetativo de la caña y la cosecha.

En la Preparación del terreno se realizan una serie de actividades tendientes a alistar el campo para la siembra de caña mejorando las características del suelo, el período vegetativo de la caña comprende las operaciones de Siembra, Riego y retape.

Aplicación de herbicidas pre emergentes, Riego, Crecimiento y aplicación de herbicidas post emergentes y pesticidas, Tareas: limpieza de acequias, doblado de caña, aplicación de herbicidas, Muestreo de maduración y Agoste.

La Cosecha, se realiza cuando la caña ha alcanzado su contenido óptimo de maduración (12–18 meses) y por lo tanto una concentración de sacarosa que determine rendimientos de azúcar económicos. Comprende la Quema, el Corte y carguío (el carguío es totalmente mecanizado mediante grúas de hilo y arrumadoras que alimentan de caña a la fábrica a camiones de 25 a 30 TN de capacidad)

Figura N°11: Proceso Productivo de la Caña de Azúcar



Fuente: Tesis Eder Sánchez

A. Proceso productivo fabril

La caña cosechada en el campo es transportada hacia la fábrica por medio de camiones, procediéndose a pesarlos y distribuirlos hacia el trapiche trapiches. El Ingenio San Jacinto posee un tándem de molinos con sus respectivas viradoras de caña.

Una vez recibida la caña en el trapiche, lo primero que se realiza es un lavado para retirarles la tierra y la suciedad que traen del campo. Luego la caña pasa por las picadoras, que tienen por objeto desmenuzar la caña. Mientras más desmenuzada esté la caña se logrará un mejor trabajo de extracción en los molinos y se mejorará el rendimiento.

Durante este proceso sólo se realiza una fragmentación de la caña pero sin extraerle el jugo, pues no hay acción de compresión.

La caña desmenuzada es transportada a través de un conductor hacia los molinos para proceder, por compresión, a extraer el jugo contenido en la caña. El jugo que se extrae es bombeado al proceso para su tratamiento de desinfección y clarificación. Este jugo mezclado es un jugo sucio pues contiene tierra, arena, residuos de caña y otras impurezas por lo que debe ser clarificado para poder ser utilizado en el proceso.

B. Recepción y pesado

La primera etapa en el proceso es la recepción y pesado de la caña entrante, este se realiza mayormente en básculas de plataforma por cada unidad entrante al mismo y tiene por finalidad controlar la cantidad de caña que entra al proceso en un período de tiempo (horas, día, mes, año) y con ello estimar los rendimientos en peso de azúcar obtenido por peso de caña entrante. Al jefe de trapiche le permite conocer su molienda horaria y con ello modificar las variables de operación de los molinos optimizando sus resultados.

C. Preparación de la caña

Las unidades en el patio de maniobras esperan su turno para ser descargadas por medio de una grúa de hilos o cables hacia un conductor de cadenas de descarga lateral donde se realiza un primer lavado de la caña con la finalidad de eliminar tierra y paja.

La caña lavada debe ser preparada mecánicamente (reducción de tamaño) con la finalidad de lograr la máxima extracción de jugo por parte de los molinos y esto se logra por medio de juegos de cuchillas (macheteros) que reducen el tamaño de los tallos al 10% del original y máquinas desfibradoras que convierten la caña a hilos.

D. Extracción del jugo de la caña

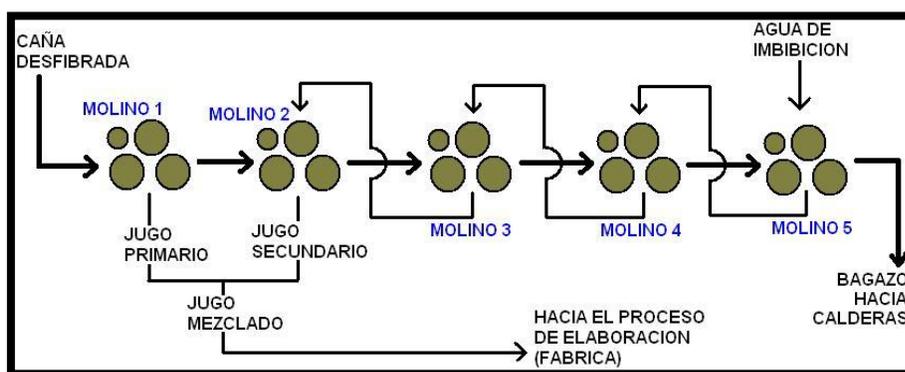
La caña preparada atraviesa el tren de molienda constituido por masas cilíndricas ranuradas dispuestas en forma triangular (molinos) que extraen el jugo cuando las atraviesa la caña. En esta operación se agrega agua (imbibición) a 75 °C a la salida del penúltimo molino con la finalidad de favorecer la disolución de la sacarosa en la fibra que la contiene. Se obtienen 2 subproductos principales: el jugo mezclado (imbibición más jugo de la caña) y un residuo leñoso de aproximadamente 50 % de humedad denominado bagazo.

En el trapiche la caña triturada pasa por cinco molinos de cuatro masas cada uno, los cuales extraen el jugo el cual contiene la sacarosa, principal elemento para la producción del azúcar.

Cada molino es alimentado por tolvas llamadas “Conductores Donelly”. El molino 1 se alimenta directamente con la carga de la desfibradora, mientras que los restantes con el bagazo que sale de cada molino anterior.

Para optimizar la extracción, la molienda cuenta con un sistema de imbibición compuesta, que consiste en aplicar agua a unos 70°C (agua de imbibición) a la salida del molino 4, y de los jugos de los molinos 3, 4 y 5 al bagazo de salida de los molinos 1, 2 y 3 respectivamente. La imbibición se hace para disminuir la cantidad de azúcar que se pueda perder en el bagazo que sale del último molino debido a que la sacarosa es altamente soluble con el agua. El bagazo del molino 5, materia resultante de la extracción del jugo, es transportado mediante un conductor a las calderas para la generación de vapor que requiere la fábrica y la operación del turbo generador. La cantidad de agua de imbibición que se aplica es controlada con un controlador electrónico, ya que una cantidad deficiente no cumpliría su cometido de recuperar suficiente sacarosa del bagazo, y una cantidad elevada puede producir que el bagazo final que va a las calderas quede muy húmedo y que el jugo mezclado tenga demasiada proporción de agua, dificultando posteriormente la tarea de elaboración. El contenido de azúcar en el jugo mezclado debe ser de unos 14%.

Figura N°12: Equipos de Extracción de Jugo Mezclado y Bagazo de Caña



Fuente: Elaboración propia

2.24 EVALUACIÓN ECONÓMICA

2.24.1 IMPORTANCIA

Las inversiones están presentes en pequeña o gran medida en las empresas para realizar proyectos ya sea de mejora de algún proceso o nuevo negocio.

Las evaluaciones para analizar los proyectos de inversión se basan normalmente en el análisis de los ingresos y gastos relacionados con el proyecto, teniendo en cuenta cuando son efectivamente recibidos y entregados, es decir, en los flujos de caja (cash flow) que se obtienen en dicho proyecto con el fin de determinar si son suficientes para soportar el servicio de la deuda anual (principal más intereses) y de retribuir adecuadamente el capital aportado por los socios. Para evaluar la viabilidad de un proyecto de inversión los indicadores más utilizados por los expertos son: Valor actual neto, tasa interna de retorno, coeficiente beneficio costo y periodo de recuperación.

2.24.2 INDICADORES ECONÓMICOS

Estos indicadores de evaluación permiten dar una medida, más o menos ajustada, de la rentabilidad que podemos obtener con el proyecto de inversión, antes de ponerlo en marcha. También permiten compararlo con otros proyectos similares, y, en su caso, realizar los cambios en el proyecto que se consideren oportunos para hacerlo más rentable.

Por tanto, este trabajo se basa en la evaluación desde el punto de vista empresarial utilizando los indicadores antes mencionados, para una mejor toma de decisión. Aunque es oportuno decir que para un mejor análisis se puede hacer también una evaluación social, un análisis de sensibilidad u otros.

2.24.3 VALOR ACTUAL NETO

Consiste en actualizar a valor presente los flujos de caja futuros que va a generar el proyecto, descontados a un cierto tipo de interés (la tasa de descuento), y compararlos con el importe inicial de la inversión. Como tasa de descuento se utiliza normalmente el costo de oportunidad del capital (COK) de la empresa que hace la inversión.

Si $VAN > 0$: El proyecto es rentable.

Si $VAN = 0$: El proyecto es postergado.

Si $VAN < 0$: El proyecto no es rentable.

A la hora de elegir entre dos proyectos, elegiremos aquel que tenga el mayor VAN.

El valor actual neto corresponde al valor actualizado de todos los flujos netos obtenidos en el futuro por sobre la inversión inicial a lo largo del periodo de evaluación del proyecto.

$$VAN = -I_0 + \sum_{i=1}^n \frac{BN_t}{(1+i)^n} \quad (3)$$

Dónde:

I_0 = Inversión inicial realizada (US\$).

BN = Flujo de caja anual para cada periodo (US\$/año).

i : Tasa de interés (%).

n : Periodos de tiempo en años.

Este criterio plantea que el proyecto deberá aceptarse si el VAN es igual o superior a cero.

2.24.4 TASA INTERNA DE RETORNO

El criterio de la tasa interna de retorno (TIR) evalúa el proyecto en función de una única tasa de rendimiento por periodo con la cual la totalidad de los beneficios actualizados son exactamente iguales a los desembolsos expresados en moneda actual. Este criterio es equivalente a igualar el VAN = 0 y determinar la correspondiente tasa que permite que el flujo actualizado sea cero. La tasa calculada se compara la tasa de descuento del proyecto.

Si la TIR es mayor o igual a la tasa de descuento el proyecto debe aceptarse, de lo contrario no debería llevarse a cabo. Su expresión matemática es la siguiente:

$$0 = -I_0 + \sum_{i=1}^n \frac{BN_t}{(1+i)^n} \quad (4)$$

Dónde:

I_0 = Inversión inicial realizada (US\$).

BN = Flujo de caja anual para cada periodo (US\$/año).

i : Tasa de interés (%).

n : Periodos de tiempo en años.

2.24.5 PERIODO DE RETORNO DE LA INVERSION O PAYBACK

Es un indicador de retorno de la inversión que nos permite conocer el tiempo en el cual se recupera la inversión realizada en función a los ahorros obtenidos.

Es un indicador utilizado en los programas de uso eficiente y ahorro de energía para poder medir la rapidez del recupero de lo invertido sin tener en cuentas los parámetros de interés. Se expresa según la siguiente ecuación.

$$PAYBACK = \frac{I_0}{BN} \quad (5)$$

Dónde:

I_0 = Inversión inicial realizada (US\$).

BN = Flujo de caja anual para cada periodo (US\$/año).

CAPITULO III

MATERIAL & METODO

3.1. MATERIALES

3.1.1. EQUIPO PARA PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

El desarrollo de este trabajo de investigación se hizo uso de:

a) Instrumentación.

- ✓ Analizador de gases (de empresa).
- ✓ Termómetro de mercurio.
- ✓ Pirómetro.
- ✓ Cámara de imagen térmica.
- ✓ Manómetro.
- ✓ Registradores de flujo másico de vapor (placa orificio).
- ✓ Cronómetro.
- ✓ Medidor de potencia (tablero general).
- ✓ Medidor de energía activa (tablero general).
- ✓ Medidor de velocidad de giro eje de turbina (tacómetro)

b) Equipo Informático.

Se utilizó computadora de mesa con procesador Core i5 de cuarta generación con tarjeta de video de 1 GB y disco duro de 1Tb como herramienta de informática para procesar textos, simular cálculos en programa Excel 2013 con macro y realizar planos de planta con programa AutoCAD 2014 y un simulador Thermodynamics Tables para los cálculos de planta.

3.2. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

3.2.1 DETERMINACIÓN DEL SISTEMA DE COGENERACIÓN

Para el incremento de la potencia efectiva en la empresa de cogeneración con la implementación del nuevo turbo generador de 21.7 MW para la generación de energía eléctrica se toma en cuenta 2 modelos de estudio con sus respectivos casos.

Actualmente se utilizan bagazo actual para generar vapor para ver como varia la potencia efectiva y ver de qué manera se puede utilizar todo el stock de bagazo y se analiza en las diferentes áreas como:

➤ Área de trapiche:

- Machete 01.
- Machete 02.
- Desfibrador.
- Molino 01 + molino 02.
- Molino 03+ molino 04.
- Molino 05.

➤ Área de generación de vapor (calderas)

- Ventilador de tiro inducido para caldera Foster Wheeler 01.
- Ventilador de tiro inducido para caldera Foster Wheeler 03.
- Turbo bomba Worthington.
- Turbo bomba Warren.

3.2.2 BALANCE DE ENERGÍA PARA EQUIPOS DE PREPARACIÓN Y EXTRACCIÓN DE CAÑA EN EL ÁREA DE TRAPICHE

La obtención de datos de operación de turbinas de vapor para accionamiento mecánicos de los machetes y molinos (equipos de preparación y extracción), seguidamente de una evaluación energética a dichos equipos para obtener sus indicadores térmicos y determinar el flujo de vapor utilizados en dichos equipos.

3.2.3 PARÁMETROS DE GENERACIÓN DE VAPOR

La generación de vapor es esencial para la generación de energía eléctrica y poder cubrir la demanda que posee. Si bien se sabe que en el ingenio AISJ utilizan biomasa (bagazo) como combustible para generar vapor y así utilizarlo para accionamientos mecánicos en trapiche, generación eléctrica con un turbogenerador de 21.7 MW; el

vapor de escape sale con una presión de 15 – 20 psi y temperatura de 225°C para así ser llevados al área de elaboración.

Las calderas acuotubulares operativas son:

- Caldera Foster Wheeler 01
- Caldera Foster Wheeler 03

Tabla N° 01: Parámetros de los Generadores de Vapor de AISJ					
Descripción de Parámetros	UND	Caldera FW N°01		Caldera FW N°03	
		Diseño	Operación	Diseño	Operación
DATOS DEL CALDERO					
Año de fabricación	Años	1975	-	1968	-
Presión de vapor de salida	Psig	690	600	698	600
Temperatura de vapor	°C	371	403	371	400
Flujo de vapor producido	Ton/h	50	38	50	38
Potencia	HP	1691	-	1691	-
Volumen de agua	m3	32.5	-	33	-
Nivel del domo	%	-	48	-	47
Temperatura de combustión en la parrillas (horno)	°C	993	981	993	865
Eficiencia de caldera	%	64.26	51.84	64.26	51.84
FLUJO DE AGUA					
Presión de agua	Psi	-	720	-	720
Temperatura de agua	°C	96	120	96	120
ALIMENTADORES DE BAGAZO					
Temperatura de bagazo entrada a la caldera.	°C	-	43	-	41
Humedad promedio de bagazo	%	47/49	47.5	47/49	47.5
Exceso de aire para la combustión	%	-	48	-	48
Temperatura de I. a la chimenea (Tch)	°C		190		190

✓ **Poder calorífico inferior del bagazo**

$$PCI = 4250 - 4850w \quad (6)$$

Dónde:

w = Humedad del bagazo (%)

PCI = Poder calorífico inferior (kcal/kg)

✓ **Pérdida de calor en los gases de combustión (kcal/kg)**

$$q = t(1 - w) \left(1.4m + \frac{0.5}{1 - w} - 0.12 \right) \quad (7)$$

Dónde:

t = Temperatura la chimenea (°C)

w = Humedad del bagazo (%)

m = Exceso de aire (%)

✓ **Cantidad de calor recuperado de la combustión (Kcal/Kg).**

$$q' = (PCI - q)\alpha \cdot \beta \cdot \eta \quad (8)$$

Dónde:

α = coef. Perdidas por inquemados

β = coef. Perdidas por radiación

η = coef. Perdidas por combustión incompleta

Tabla N° 02: Coeficientes de Pérdidas	
Coef. perdidas por inquemados (α)	0.98
Coef. Perdidas por radiación (β)	0.9
Coef. Perdidas comb. Incompleta (η)	0.88

Fuente: Hugot

✓ **Índice de generación térmica (Kg vapor / Kg bagazo)**

$$IG = \frac{q'}{h_s - h_i} \quad (9)$$

Dónde:

h_i = Entalpia de agua de alimentación.

h_s = Entalpia de vapor sobrecalentado.

✓ **Flujo másico total de agua consumido por las calderas.**

$$C. a = 1.03 * mv_{tot} \quad (10)$$

Dónde:

mv_{tot} =Flujo de vapor generado por las 2 calderas ton vapor/h

✓ **Consumo de bagazo en las calderas.**

$$m_c = \frac{mv_{tot}}{IG} \quad (11)$$

La planta de fuerza actualmente funciona con un turbogenerador TGM de 21.7 MW y un grupo electrógeno de emergencia de 600 KW. Lo que cubre toda la demanda del ingenio de agroindustrias San Jacinto. En tiempo de parada de mantenimiento del ingenio, el consumo eléctrico se compra del distribuidor externo (Hidrandina S.A.)

Tabla N° 03 : Informaciones Técnicas Generales del Turbogenerador			
Condiciones de Funcionamiento	1	2	Und
Potencia en los terminales del generador	16.680	21.710	kW
Presión del vapor de la entrada	43	66	bar
Temperatura del vapor de la entrada	400	510	°C
Flujo de entrada de vapor	115	115	Ton/h
Presión de vapor	2.50	2.50	bar
Flujo de salida del vapor	115	115	Ton/h
vapor de salida de temperatura	127.6	134	°C
Rotación de la turbina	6,800	6,800	RPM
Rotación del generador	1,800	1,800	RPM
Eficiencia del generador	97.80		%
Eficiencia del reductor	98.50		%

Fuente: Manual de Operación de la Turbina de Vapor TGM 21.7 MW

3.2.4 LOS PARÁMETROS DE DISEÑO DEL TURBOGENERADOR TGM DE 21.7 MW

✓ Potencia generada por la turbina en contrapresión

Aplicando balance de masa y energía obtenemos:

$$P_{turbina} = \frac{P.G}{\eta_g \cdot \eta_{Redu}} \quad (12)$$

Dónde:

$P.G$ = Potencia generada en los bornes del generador

η_g = Eficiencia del generador

η_{Redu} = Eficiencia del reductor

✓ Calor cedido por el turbogenerador de 21.71 MW

$$Q_c = P_{turbina} + m_v \left[(h_2 - h_1) + \frac{(C_2^2 - C_1^2)}{2 \cdot 10^3} + \frac{g(H_2 - H_1)}{10^3} \right] \quad (13)$$

Dónde:

m_v = Flujo de vapor (kg/s)

h_2 = Entalpia de presión de escape de la turbina contrapresión (kJ/kg)

h_1 = Entalpia de presión de admisión de la turbina contrapresión (kJ/kg)

C_2 = Velocidad de salida del vapor (m/s)

C_1 = Velocidad de entrada del vapor (m/s)

H_2 = Nivel de la válvula de admisión (m)

H_1 = Nivel de la válvula de escape (m)

✓ Eficiencia isentrópica en el turbogenerador de 21.7 MW

$$\eta_{Is} = \frac{(h_1 - h_2)}{(h_1 - h_{2is})} \quad (14)$$

Dónde:

h_{2is} = Entalpia con expansión de entropía constante (kJ/kg)

✓ Consumo específico de vapor

$$C_v = \frac{m_v}{P_G} \quad (15)$$

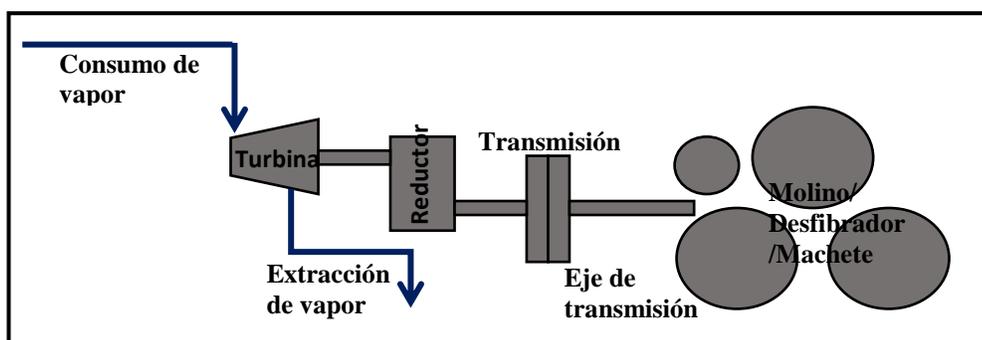
✓ Tasa de calor

$$H_R = \frac{m_c}{P_G} \quad (16)$$

3.2.5 PARÁMETROS PARA EL BALANCE DE ENERGÍA EN LOS EQUIPOS CONSUMIDORES DE VAPOR

Actualmente el área cuenta con 05 turbinas para el accionamiento mecánico de 02 machetes y 06 molinos. La parte electrificada se complementa con motores eléctricos en los cuales se realizará una evaluación de consumo, registrándola como potencia instalada y potencia consumida. Los balances de energía correspondientes a los equipos de accionamiento se realizaron en base al siguiente esquema.

FIGURA N°13: Diagrama Transmisión de Energía Mecánica en el Área de Trapiche



Se mencionan los equipos consumidores térmicos en el área de trapiche.

Tabla N° 04: Equipos Consumidores de Vapor en el Área de Trapiche			
Equipo Térmico	Equipo Mecánico	Nombre	Accionamiento
TURBINA DE VAPOR	Machete n°1	NG 1	Vapor sobrecalentado
	Machete n°2	NG 2	
	Molino 2 y 3	DONELLY 2 Y 3	
	Molino 4 y 5	DONELLY 4 Y5	
	Molino 6	DONELLY 6	

Tabla N° 05: Datos de Molienda		
Parámetros de Molienda	Valor	Unidad
Toneladas de caña día (M)	5200	TCD
Horas de operación (Hr)	22	Hr
Toneladas de caña hora (C)	236.38	TCH
Días de Zafra	300	Día
Bagazo en caña (B%C)	30.4	%
Humedad del bagazo (H%)	49	%
Fibra en la caña (f)	14.5	%

A. Primer y Segundo juego de machetes

Tabla N° 06: Equipos de Preparación de Caña		
Parámetros de diseño para preparación de caña	Valor	Und
Radio del circulo de rotación - Machete N°01 (R1)	75.00	Cm
Radio del circulo de rotación - Machete N°02 (R2)	70.00	Cm
Paso de las cuchillas - Machete N°01 (p1)	10.00	Cm
Paso de las cuchillas - Machete N°02 (p2)	5.00	cm
Ancho del conductor (L)	1.50	m
Peso del m3 de cañas - Machete N°01 (d1)	130.00	kg/m3
Peso del m3 de cañas - Machete N°02 (d2)	250.00	kg/m3
Ajuste de las cuchillas - Machete N°01 (r1)	300.00	mm
Ajuste de las cuchillas - Machete N°02 (r2)	70.00	mm
Índice de preparación de caña (PI)	85.00	%
Velocidad	Valor	Und
Velocidad de rotación de las cuchillas - Machete N°01 (n1)	680.00	RPM
Velocidad de rotación de las cuchillas - Machete N°02 (n2)	630.00	RPM
Velocidad del conductor de cañas N°1 (v)	7.20	m/min
Velocidad del conductor de cañas N°2 (v)	12.00	m/min

✓ **Altura del colchón de caña**

$$h = \frac{1000 \cdot C}{60 \cdot v \cdot L \cdot d} \quad (17)$$

h = altura de colchón de caña (mm)

C = trabajo de los molinos TCH

v = velocidad del conductor (m/min)

L = ancho del conductor (m)

d = peso de cañas, antes de las cuchillas (Kg/m³)

✓ **Porcentaje peso trabajado.**

$$i = \frac{r}{h} \times 100 \quad (18)$$

r = Ajuste de las cuchillas (mm)

h = Altura de colchón de caña (mm)

i = Peso de cañas no cortadas, % peso trabajando (mm)

✓ **Proporción de cañas cortadas.**

$$k = \frac{100 - i}{100} \quad (19)$$

k = Proporción de cañas cortadas (%)

i = Peso de cañas no cortadas (%)

✓ **Potencia del primer y segundo juego de machetes.**

$$P = 0.0025 * \frac{k * C * f * n * R}{p} \quad (20)$$

P = Potencia media consumida por las cuchillas

C = Trabajo de los molinos TCH

f = Fibra en la caña, con relación a la unidad

k = Proporción de cañas cortadas (%)

n = Velocidad de rotación de las cuchillas (RPM)

R = Radio del círculo en la punta de las hojas (cm)

p = Paso de cuchillas (cm)

Tabla N° 7: Consideraciones Técnicas para los Equipos de Preparación de Caña	
N	500 rpm
R	60 cm
P	5 cm
K	0.8

Fuente: Hugot

B. Molinos o trapiches

Tabla N° 08: Datos para Dimensionamiento de Equipos de Extracción de Jugo		
Parámetros de diseño para equipos extracción de jugo	Valor	Und
Fibra del bagazo en el molino N° 02 (F2)	36.00	%
Fibra del bagazo en el molino N° 03 (F3)	39.00	%
Fibra del bagazo en el molino N° 04 (F4)	42.00	%
Fibra del bagazo en el molino N° 05 (F5)	45.00	%
Fibra del bagazo en el molino N° 06 (F6)	49.00	%
Coefficiente relativo a los equipos de preparación (c)	1.23	-
Longitud de los cilindros (L)	1.75	m
Diámetro de los cilindros (D)	0.88	m
Numero de cilindros de la batería (N)	24.00	-
Fibra por unidad de bagazo (F)	0.50	-
Diámetro del pistón (Dp)	10.00	pulg
Presión en placa (Pp)	3000.00	lb/pulg ²
Presión en placa (Pp)	210.09	kg/cm ²
Densidad del jugo a presión atmosférica ($\delta'0$)	1.51	g/cm ³
Rendimiento de la coronas (nc)	98.50	%
Rendimiento de los piñones (np)	98.00	%
Rendimiento de engranajes de reducción (ne)	98.00	%
Rendimiento de reducción (nr)	98.50	%
Velocidad de rotación de los cilindros (n)	3.80	RPM

✓ **Carga fibrosa.**

$$Cf = 60 \cdot \pi \cdot D \cdot n \cdot L \cdot q \quad (21)$$

Dónde:

C = Trabajo de los molinos en kg de caña por hora

f = Fibra de la caña en relación con la unidad.

L = Longitud de los cilindros, en m.

D = Diámetro de los cilindros

n = Velocidad de los cilindros, en rpm

q = Carga fibrosa, en kg por m²

✓ **Carga fibrosa específica.**

$$\tau = \frac{q}{D} \quad (22)$$

✓ **Densidad de la fibra a una determinada presión.**

$$\delta = 1.512 + 220 \times 10^{-6} \cdot p \quad (23)$$

Dónde:

p = Presión hidráulica específica kg/dm²

✓ **Densidad del jugo a una determinada presión.**

$$\delta' = \delta'_0(1 + 380 \times 10^{-6} \cdot p) \quad (24)$$

✓ **Densidad del bagazo comprimido.**

$$d = \frac{1}{\frac{F}{\delta} + \frac{1-F}{\delta}} \quad (25)$$

Dónde:

F = Fibra de este bagazo con relación a la unidad.

δ = Densidad de la fibra a una determinada presión.

✓ **Potencia consumida por los molinos.**

$$T = \frac{nD}{e} \left[P \left(0.5 \cdot \sqrt{\frac{\tau}{dF}} + 0.05 \right) 4L \right] \quad (26)$$

Dónde:

n = Velocidad de rotación de los cilindros en Rpm.

L = Largo de los cilindros de Rpm, en m.

D = Diámetro de los cilindros en m.

e = Rendimiento de los engranes.

P = Presión hidráulica total aplicada sobre el cilindro superior,

τ = Carga fibrosa específica del molino en $\text{kg/m}^2/\text{m}$

d = Densidad del bagazo comprimido en el plano axial de los cilindros de salida kg/m^3

✓ **Potencia en el eje de la turbina de accionamiento de los equipos de preparación y extracción de caña.**

$$P_{eje} = \frac{P_{con}}{n_{red}} \quad (27)$$

✓ **Eficiencia isentrópica y consumo específico para turbinas de preparación y extracción** (al igual que la ecuación (14) y (15))

Obtendremos la eficiencia isentrópica, mediante los siguientes parámetros de presión y temperatura en dichos equipos presentadas en la siguiente tabla:

$$\eta_{Is} = \frac{(h_1 - h_2)}{(h_1 - h_{2is})} \quad (28)$$

$$C_V = \frac{m_v}{P_G} \quad (29)$$

Tabla N°09: Condiciones de Operación de Turbinas de Vapor en el Área de Trapiche

Equipos Térmicos	P adm (Bar)	T° adm (°C)	P Esc (Bar)	T° ESC (°C)
Machetes N°1	41.5	361	1.41	210
Machetes N°2	41	378	1.37	210
Molino 2 y 3	41.5	395	1.28	255
Molino 4 y 5	41	398	1.24	263
Molino 6	40	399	1.3	264

✓ **Consumo de vapor en los equipos de preparación y extracción de caña**

El flujo de vapor en función a la velocidad, al área transversal y el volumen específico que este recorre.

$$m_v = \frac{C \cdot A}{v} \quad (30)$$

Dónde:

v = Volumen específico (m³/kg)

C = Velocidad del flujo de vapor (m/s)

A = Sección de la tubería (m²)

Tabla N° 10: Dimensiones de Entrada y Salida en Turbinas de Trapiche

	Machete 1	Machete 2	Molino 2 y 3	Molino 4 y 5	Molino 6
D₁ adm (pulg)	4	4	4	4	4
D₂ Esc (pulg)	10	12	10	10	10
Dif. Altura (m)	0.613	0.585	0.585	0.329	0.521
Efic reductor	0.98		0.93		

$$C = \frac{4m_v v}{\pi D^2} \quad (30.a)$$

Reemplazando la ecuación (3.25a) en la ecuación (3.8) tenemos:

$$P_{con} = \left[\frac{Q_{ced}}{m_v} + m_v A + B m_v^3 \right] \times n_{red} \quad (30.b)$$

Dónde:

Q_{ced} = Calor cedido (kW)

A = cte (kJ/kg)

B = cte (kJ/kg)

$$A = \left[(h_1 - h_2) + \frac{g(H_1 - H_2)}{1000} \right] \quad (30.c)$$

$$B = \frac{8}{\pi^2} \left[\frac{v_1^2}{D_1^4} - \frac{v_2^2}{D_2^4} \right] \cdot \frac{1}{1000} \quad (30.d)$$

A. El turbogenerador

El turbogenerador es una turbina unida a un generador. La turbina es un dispositivo mecánico que transforma una corriente de agua o de gas, a través de unas aspas o álabes, en energía cinética de un eje de giro.

Es el principal equipo de la planta de fuerza, está constituido por una turbina de extracción – Contrapresión y un generador eléctrico de 21.7 MW. Las características de este equipo se muestran en la siguiente tabla:

Tabla N° 11: Turbina de Extracción – Contrapresión			
Parámetro	Unidad	Valor	
		Diseño	Operación
Marca	TGM		
Presión de vapor de admisión	Bar	43	40.42
Presión de vapor extracción	Bar	2.5	2.25
Temperatura de vapor de admisión	°C	400	408.22
Temperatura de vapor de extracción	°C	127	140.7
Flujo de entrada de vapor	Ton/h	115	33.65
Flujo de entrada de vapor	Ton/h	115	33.65
Velocidad de rotación	RPM	6800	6820

Fuente: Manual de Operación del Turbogenerador de 21.7MW

Tabla N° 12: Características del Generador Eléctrico WEG AISJ			
Parámetro	Unidad	Valor	
		Diseño	Operación
Serie	1016466268		
Marca	WEG		
Potencia aparente	KVA	27137	5062.5
Velocidad de giro	RPM	1800	1800
Factor de potencia	-	0.8	0.8
Fases	-	3	3
Frecuencia	Hz	60	60
Tensión	V	13800	13800
Corriente de armadura	A	1135	211.8
Corriente de campo	A	334.6	334.6
Tensión de excitación	V	311.11	311.11
Potencia efectiva	KW	21700	4050

Fuente: Manual de operación del turbogenerador de 21.7 MW

Tabla N° 12 - A: Parámetros de Operación de la Turbina de Vapor de 21.7 MW

MESES	Muestra	Generación Eléctrica (KW)	Flujo de Vapor (Ton/h)	Presión admisión (Bar)	Temperatura de admisión (°C)	Presión de escape (Bar)	Temperatura de escape (°C)
SETIEMBRE	1	3,168.17	28.26	40.27	402.73	1.11	143.98
	2	3,043.07	27.32	39.63	398.45	0.95	136.86
	3	3,513.93	29.99	40.23	405.93	1.11	141.03
	4	3,568.61	30.22	39.59	402.32	1.04	136.23
	5	3,422.17	29.06	39.95	405.25	1.04	139.75
	6	3,279.58	28.05	40.06	403.14	1.00	139.72
	7	3,288.15	28.80	39.72	398.98	1.12	140.17
	8	3,055.79	27.08	39.81	398.31	0.93	136.61
OCTUBRE	9	3,253.67	28.47	40.20	399.60	1.03	138.25
	10	3,240.19	28.65	39.39	397.25	1.04	137.25
	11	3,262.50	28.72	39.35	397.46	1.03	136.38
	12	3,126.33	27.70	39.44	392.50	0.93	132.58
	13	3,026.10	25.21	37.60	390.00	0.94	135.80
	14	3,334.08	27.63	38.95	390.38	1.05	135.33
	15	3,334.08	29.02	39.50	391.17	0.97	133.46
	16	3,572.68	29.93	40.15	402.74	0.98	133.79
NOVIEMBRE	17	3,393.76	29.32	38.41	386.80	1.00	130.30
	18	3,542.31	30.11	39.56	401.37	1.02	137.26
	19	3,805.27	31.89	40.12	402.96	1.16	137.39
	20	3,836.47	32.24	40.09	405.50	1.21	140.28
	21	3,799.29	32.04	40.22	402.98	1.18	139.18
	22	3,898.43	32.66	40.35	405.31	1.23	140.05
	23	3,870.45	32.50	40.34	408.15	1.26	143.29
	24	3,838.32	32.39	40.36	409.08	1.28	144.98
DICIEMBRE	25	3,319.03	28.96	39.36	394.48	0.95	133.80
	26	3,864.07	32.39	40.21	405.09	1.20	140.21
	27	3,930.46	32.11	40.20	406.76	1.11	137.36
	28	4,135.96	33.29	40.15	406.59	1.11	134.17
	29	3,976.52	32.30	39.40	405.09	1.05	132.92
	30	3,944.35	32.62	39.51	402.50	1.05	132.19
	31	3,827.57	31.84	39.46	401.72	1.06	133.16
	32	3,900.37	32.43	38.91	401.17	1.02	130.70

CAPITULO IV

CALCULOS & RESULTADOS

4.1 CÁLCULOS TÉCNICOS

4.1.1 CÁLCULOS DE INDICADORES DEL FLUJO DE VAPOR GENERADO

Según la Tabla N°1, utilizaremos los parámetros de operación para las calderas FW01 y FW03, donde el cálculo para indicadores térmicos de generación de vapor.

- El cálculo del poder calorífico inferior del bagazo. Ecuación (6).
- La pérdida de calor en los gases de combustión. Ecuación (7).
- Cantidad de calor recuperado de la combustión. Ecuación (8) y Tabla N°2
- Índice de generación térmica. Este indicador en el ingenio de agroindustrias San Jacinto tiene un valor de 1.92 – 2.08 kg vapor/kg bagazo, el cual nos indica que por cada kg de bagazo quemado se obtiene 2.08 kg de vapor generado. Ecuación (8).
Tablas de vapor, Tabla N°1.
- Consumo de bagazo en las calderas. Ecuación (11)

Tabla N° 13: Índice de Pérdidas y Recuperación de Calor			
Parámetro	Und	Caldera FW N°01	Caldera FW N°03
Exceso de aire para la combustión	%	48.00	48.00
Perdida de calor	kcal/kg	150.06	152.06
Recuperación de calor	kcal/kg	1285.74	1285.74
Índice de generación de vapor	Kg Vapor/Kg bagazo	2.08	

Tabla N° 14: Índice de Consumo de Bagazo para la Generación de Vapor			
Parámetro	Und	Caldera FW N°01	Caldera FW N°03
Humedad promedio de bagazo	%	47.50	47.50
Poder calorífico del bagazo (superior)	BTU/lb	4264.20	4264.20
Poder calorífico del bagazo (inferior)	Kcal/kg	1946.25	1946.25
Flujo de bagazo	Ton bag /h	30	31.7
Flujo total de bagazo	Ton bag /h	61.7	

4.1.2 UTILIZANDO DATOS MENSUALES EN TRAPICHE

Tabla N°15: Índice de Molienda & Fabrica		
INDICE DE MOLIENDA Y FABRICA	PROMEDIO AL MES	
TIEMPOS		
Días Calendario	31	Días
Horas al Mes	744	Horas/mes
Falta Caña	0.66	Valor referencial
Tiempo Perdido Extracción	22	Horas
Tiempo perdido Elaboración	4	Horas
Tiempo Perdido Energía	3.4	Horas
Tiempo Perdido Otros	6	Horas
Tiempo Perdido Total	36.06	Horas
Tiempo Programado	26	Parada mensual
Tiempo Disponible	718	Horas Mensuales
Tiempo Útil	681.94	Horas Mensuales
Horas al Molienda al día	22	Horas
Ratio produce de vapor vs bagazo	2.08	
MOLIENDA		
Propia	165,540.00	T.C. Mes
Sembradores	0	T.C. Mes
Caña Bruta Molida	165,540.00	T.C. Mes
Ton Caña / hora	204.57	T.C.H
Kg Sac Perdida / Ton Caña	0.35	Valor referencial
PCI bagazo	8700	kJ/Kg
	2077.9515	kcal/kg

4.1.3 CÁLCULO DEL INGRESO EN EL TRAPICHE PARA OBTENER EL BAGAZO, MEDIANTE UN BALANCE VOLUMÉTRICO

Luego que la caña de azúcar en pesada, puesta en mesa recepcionadora 01, pasa a la mesa 02 en donde mediante unas paletas (gallego) es ordenada para luego pasar a la zona de corte 01 (machete 01), luego a la zona de corte 02 (machete 02), luego a la zona de desfibradora de donde obtenemos la siguiente cantidad de caña antes de pasar a la zona de molinos.

$$\text{CAÑA DESFIBRADA} = 204,57 \text{Tn/h}$$

- ✓ **Dato Laboratorio: %Pol = 12,89%**

$$\frac{\% \text{Pol}}{100} \times \text{Caña Desfibrada} = 26,37 \text{ Tn/h}$$

$$\text{Brix}_{(0)} = \frac{\% \text{Pol}}{0,94} = 13,71\%$$

$$\frac{\text{Brix}}{100} \times \text{Caña Desfibrada} = 28,05 \text{ Tn/h}$$

- ✓ **Dato Laboratorio: Fibra₍₀₎ = 15,04%**

$$\frac{\% \text{Fibra}}{100} \times \text{Caña Desfibrada} = 30,77 \text{ Ton/h}$$

- ✓ **Humedad₍₀₎ = 100 - (Brix% + Fibra%) = 71,25%**

$$\frac{\% \text{Humedad}}{100} \times \text{Caña Desfibrada} = 145,75 \text{ Tn/h}$$

- ✓ **No Azucar = Brix% - Pol% = 0,82%**

$$\frac{\% \text{No Azucar}}{100} \times \text{Caña Desfibrada} = 1,68 \text{ Tn/h}$$

➤ **MOLINO 01: DATOS DE SALIDA DEL BAGAZO**

Dato Laboratorio: %Pol₍₁₎ = 10,64%

Dato Laboratorio: %Brix₍₁₎ = 11,73%

Dato Laboratorio: %Humedad₍₁₎ = 60,13%

✓ %Fibra₍₁₎ = 100 - (%Brix + %Humedad) = 28,14%

$$\frac{\%Fibra}{100} \times \text{Caña Desfibrada} = 30,77 \frac{Tn}{h}$$

✓ %Reductor₍₁₎ = %Brix₍₁₎ - %Pol₍₁₎ = 1,09%

✓ Será la misma cantidad porque es mismo tipo de caña y no se agrega nada de caña.

$$\text{Caña Comprimida}_{(1)} = \frac{30,77 \frac{Tn}{h}}{\%Fibra_{(1)}} \times 100 = 109,33 \frac{Tn}{h}$$

✓ **Cantidad de Pol₍₁₎:**

$$\frac{\%Pol_{(1)}}{100} \times \text{Caña Comprimida}_{(1)} = 11,63 \frac{Tn}{h}$$

✓ **Cantidad de Brix₍₁₎:**

$$\frac{\%Brix_{(1)}}{100} \times \text{Caña Comprimida}_{(1)} = 12,82 \frac{Tn}{h}$$

✓ **Cantidad de Humedad₍₁₎:**

$$\frac{\%Humedad_{(1)}}{100} \times \text{Caña Comprimida}_{(1)} = 65,74 \frac{Tn}{h}$$

✓ **Cantidad de Reductor₍₁₎:**

$$\frac{\%Reductor_{(1)}}{100} \times \text{Caña Comprimida}_{(1)} = 1,19 \frac{Tn}{h}$$

➤ **MOLINO 02: DATOS DE SALIDA DEL BAGAZO**

Dato Laboratorio: %Pol₍₂₎ = 6,7%

Dato Laboratorio: %Brix₍₂₎ = 7,63%

Dato Laboratorio: %Humedad₍₂₎ = 57,92%

✓ %Fibra₍₂₎ = 100 - (%Brix₍₂₎ - %Humedad₍₂₎) = 34,45%

$$\frac{\%Fibra}{100} \times \text{Caña Desfibrada} = 30,77 \frac{Tn}{h}$$

✓ %Reductor₍₂₎ = %Brix₍₂₎ - %Pol₍₂₎ = 0,93%

✓ Será la misma cantidad porque es mismo tipo de caña y no se agrega nada de caña.

$$\text{Caña Comprimida}_{(2)} = \frac{30,77 \frac{Tn}{h}}{\%Fibra_{(2)}} \times 100 = 89,31 \frac{Tn}{h}$$

✓ **Cantidad de Pol₍₂₎:**

$$\frac{\%Pol_{(2)}}{100} \times \text{Caña Comprimida}_{(2)} = 5,98 \frac{Tn}{h}$$

✓ **Cantidad de Brix₍₂₎:**

$$\frac{\%Brix_{(2)}}{100} \times \text{Caña Comprimida}_{(2)} = 6,81 \frac{Tn}{h}$$

✓ **Cantidad de Humedad₍₂₎:**

$$\frac{\%Humedad_{(2)}}{100} \times \text{Caña Comprimida}_{(2)} = 51,73 \frac{Tn}{h}$$

✓ **Cantidad de Reductor₍₂₎:**

$$\frac{\%Reductor_{(2)}}{100} \times \text{Caña Comprimida}_{(2)} = 0,83 \frac{Tn}{h}$$

➤ **MOLINO 03: DATOS DE SALIDA DEL BAGAZO**

Dato Laboratorio: %Pol₍₃₎ = 5,42%

Dato Laboratorio: %Brix₍₃₎ = 6,31%

Dato Laboratorio: %Humedad₍₃₎ = 54,56%

✓ %Fibra₍₃₎ = 100 - (%Brix₍₃₎ - %Humedad₍₃₎) = 39,13%

$$\frac{\%Fibra}{100} \times \text{Caña Desfibrada} = 30,77 \frac{\text{Tn}}{\text{h}}$$

✓ %Reductor₍₃₎ = %Brix₍₃₎ - %Pol₍₃₎ = 0,89%

✓ Será la misma cantidad porque es mismo tipo de caña y no se agrega nada de caña.

$$\text{Caña Comprimida}_{(3)} = \frac{30,77 \text{ Tn/h}}{\%Fibra_{(3)}} \times 100 = 78,63 \frac{\text{Tn}}{\text{h}}$$

✓ **Cantidad de Pol₍₃₎:**

$$\frac{\%Pol_{(3)}}{100} \times \text{Caña Comprimida}_{(3)} = 4,26 \frac{\text{Tn}}{\text{h}}$$

✓ **Cantidad de Brix₍₃₎:**

$$\frac{\%Brix_{(3)}}{100} \times \text{Caña Comprimida}_{(3)} = 4,96 \frac{\text{Tn}}{\text{h}}$$

✓ **Cantidad de Humedad₍₃₎:**

$$\frac{\%Humedad_{(3)}}{100} \times \text{Caña Comprimida}_{(3)} = 42,90 \frac{\text{Tn}}{\text{h}}$$

✓ **Cantidad de Reductor₍₃₎:**

$$\frac{\%Reductor_{(3)}}{100} \times \text{Caña Comprimida}_{(3)} = 0,70 \frac{\text{Tn}}{\text{h}}$$

➤ **MOLINO 04: DATOS DE SALIDA DEL BAGAZO**

Dato Laboratorio: $\%Pol_{(4)} = 3,28\%$

Dato Laboratorio: $\%Brix_{(4)} = 4,05\%$

Dato Laboratorio: $\%Humedad_{(4)} = 52,35\%$

✓ $\%Fibra_{(4)} = 100 - (\%Brix_{(4)} - \%Humedad_{(4)}) = 43,6\%$

$$\frac{\%Fibra}{100} \times \text{Caña Desfibrada} = 30,77 \frac{Tn}{h}$$

✓ $\%Reductor_{(4)} = \%Brix_{(4)} - \%Pol_{(4)} = 0,77\%$

✓ Será la misma cantidad porque es mismo tipo de caña y no se agrega nada de caña.

$$\text{Caña Comprimida}_{(4)} = \frac{30,77 \text{ Tn/h}}{\%Fibra_{(4)}} \times 100 = 70,57 \frac{Tn}{h}$$

✓ **Cantidad de Pol₍₄₎:**

$$\frac{\%Pol_{(4)}}{100} \times \text{Caña Comprimida}_{(4)} = 2,31 \frac{Tn}{h}$$

✓ **Cantidad de Brix₍₄₎:**

$$\frac{\%Brix_{(4)}}{100} \times \text{Caña Comprimida}_{(4)} = 2,86 \frac{Tn}{h}$$

✓ **Cantidad de Humedad₍₄₎:**

$$\frac{\%Humedad_{(4)}}{100} \times \text{Caña Comprimida}_{(4)} = 36,94 \frac{Tn}{h}$$

✓ **Cantidad de Reductor₍₄₎:**

$$\frac{\%Reductor_{(4)}}{100} \times \text{Caña Comprimida}_{(4)} = 0,54 \frac{Tn}{h}$$

➤ **MOLINO 05: DATOS DE SALIDA DEL BAGAZO**

Dato Laboratorio: %Pol₍₅₎ = 1,73%

Dato Laboratorio: %Brix₍₅₎ = 2,55%

Dato Laboratorio: %Humedad₍₅₎ = 47,57%

✓ %Fibra₍₅₎ = 100 - (%Brix₍₅₎ - %Humedad₍₅₎) = 49,88%

$$\frac{\%Fibra}{100} \times \text{Caña Desfibrada} = 30,77 \frac{Tn}{h}$$

✓ %Reductor₍₅₎ = %Brix₍₅₎ - %Pol₍₅₎ = 0,82%

✓ Será la misma cantidad porque es mismo tipo de caña y no se agrega nada de caña.

$$\text{Caña Comprimida}_{(5)} = \frac{30,77 \text{ Tn/h}}{\%Fibra_{(5)}} \times 100 = 61,28 \frac{Tn}{h}$$

✓ **Cantidad de Pol₍₅₎:**

$$\frac{\%Pol_{(5)}}{100} \times \text{Caña Comprimida}_{(5)} = 1,07 \frac{Tn}{h}$$

✓ **Cantidad de Brix₍₅₎:**

$$\frac{\%Brix_{(5)}}{100} \times \text{Caña Comprimida}_{(5)} = 1,57 \frac{Tn}{h}$$

✓ **Cantidad de Humedad₍₅₎:**

$$\frac{\%Humedad_{(5)}}{100} \times \text{Caña Comprimida}_{(5)} = 29,34 \frac{Tn}{h}$$

✓ **Cantidad de Reductor₍₅₎:**

$$\frac{\%Reductor_{(5)}}{100} \times \text{Caña Comprimida}_{(5)} = 0,51 \frac{Tn}{h}$$

➤ **MOLINO 05: DATOS DE SALIDA DEL JUGO**

Según la estructura de cómo se pone o agregue el agua de inhibición su cálculo se pospondrá para más adelante.

Total de bagazo obtenido en la molienda se dará en el **Molino 05** con un total de:

$$\text{Total de Bagazo} = 61,28 \text{ Tn/h}$$

De este total de bagazo no todo se va al proceso de generación de vapor mediante la quema de toda esta cantidad de bagazo; esto dependerá de la cantidad de jugo extraído (jugo mezclado) y del cual cuando pase por un proceso de precalentado, adición de productos químicos y otros, pase a zona de clarificado en el cual según el contenido de agua que tendrá dicha mezcla de agua y sacarosa se calculara que cantidad de vapor se generara para el proceso de pre evaporación.

Figura N° 14: Equipos de Extracción de Jugo Mezclado y Bagazo de Caña para una Molienda de 4500 TCMD

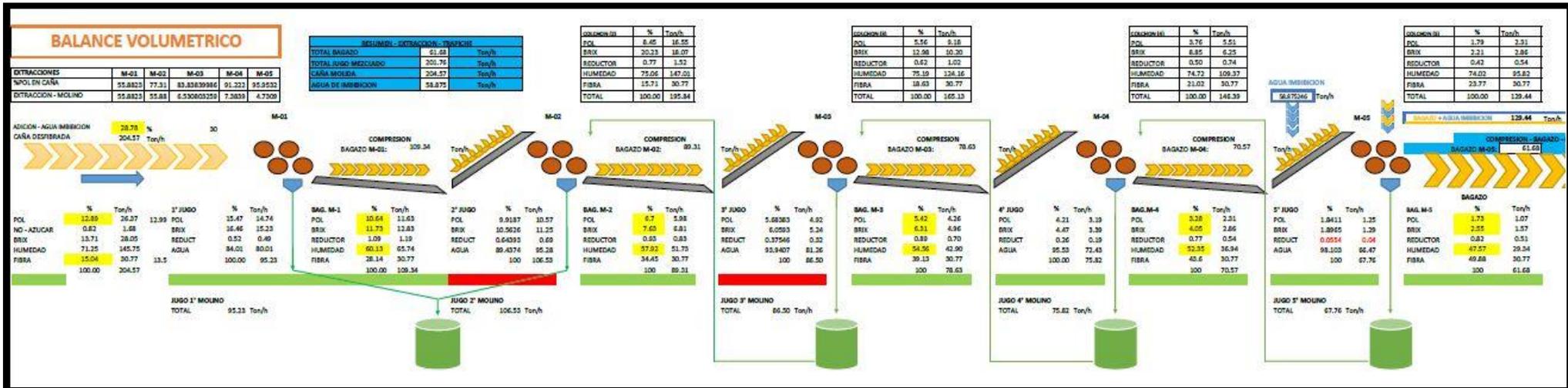


Tabla N° 16: Resumen del Proceso en la Molienda

RESUMEN:		
Ton Caña/hora	204.567	T.C.H
Ton caña/día	4500.08	T.C.D
Ton Jugo Clarificado	196.87	Ton jugo/ h
Brix Jugo Clarificado	14.68	°Bx
Ton Jugo Mezclado	201.76	Ton/h
Ton Bagazo (obtenido)	61.68	Ton / h

4.1.4 POTENCIA EFECTIVA ACTUAL DEL TURBOGENERADOR

- Ahora que obtuvimos el bagazo después de todo el proceso de la molienda, en planta hay una relación de producción de vapor vs bagazo que es de 2.08 entonces haciendo los diferentes cálculos de las anteriores formulas, podemos obtener la potencia efectiva actual, para cada caso en particular de 3500 a 4500 T.C.M.D.

CASO N° 01: Trabajando a condiciones iniciales.

Tabla N° 17: Resumen del Proceso para Obtener la Potencia Efectiva del Turbogenerador en Función del Bagazo Utilizado.

Datos Ingreso		Molienda			Flujo Extracción		Ratio produc de vapor vs bagazo	Flujos de Vapor				
					Bagazo			Caldera	Equipos	Turbo 21.7 MW	Planta	P. GEN=E
		T.C.M.M	T.C.M. D	T.C.M.H	Adquirido	Utilizado		Generado	consumido	Consumido	Consumido	
P [Bar]	T [°C]	[Ton Caña/Mes]	[Ton Caña/Día]	[Ton Caña/h]	m b [Ton/h]	m b [Ton/h]	m v [Ton/h]	m v [Ton/h]	m v [Ton/h]	m v [Ton/h]	[MW]	
41.00 2.40	400.00 134.00	161,200.39	5,200.01	236.39	71.28	53.22	2.08	110.70	57.83	52.87	110.70	6.800
41.00 2.40	400.00 134.00	139,512.31	4,500.40	204.56	61.68	46.57	2.08	96.88	53.50	43.38	96.88	5.580
41.00 2.40	400.00 134.00	124,010.79	4,000.35	181.83	54.83	41.83	2.08	87.00	50.32	36.68	87.00	4.718
41.00 2.40	400.00 134.00	108,509.61	3,500.31	159.11	47.97	37.08	2.08	77.12	47.08	30.04	87.00	3.864

Haremos una variación de presión y temperatura a la salida de la caldera con las mismas cantidades de T.C.M.D

CASO N° 02: Variando nuestro sistema actual a una Temperatura a 450 °C y una misma Presión.

Tabla N° 18: Resumen del Proceso para Obtener la Potencia Efectiva del Turbogenerador en Función del Bagazo Utilizado.

Datos Ingreso		Molienda			Flujo Extracción		Ratio produc de vapor vs bagazo	Flujos de Vapor				
					Bagazo			Caldera	Equipos	Turbo 21.7 MW	Planta	P. GEN=E
		T.C.M.M	T.C.M.D	T.C.M.H	Adquirido	Utilizado		Generado	Consumido	Consumido	Consumido	
P [Bar]	T [°C]	[Ton Caña/Mes]	[Ton Caña/Día]	[Ton Caña/h]	m b [Ton/h]	m b [Ton/h]	m v [Ton/h]	m v [Ton/h]	m v [Ton/h]	m v [Ton/h]	[MW]	
41.00 2.40	450.00 134.00	161,200.39	5,200.01	236.39	71.28	53.22	2.08	110.70	57.83	52.87	110.70	8.455
41.00 2.40	450.00 134.00	139,516.74	4,500.54	204.57	61.68	46.58	2.08	96.88	53.50	43.38	96.88	6.938
41.00 2.40	450.00 134.00	124,010.79	4,000.35	181.83	54.83	41.83	2.08	87.00	50.32	36.68	87.00	5.866
41.00 2.40	450.00 134.00	108,513.02	3,500.42	159.11	47.98	37.08	2.08	77.13	47.08	30.05	77.13	4.806

CASO N° 03: Variando nuestro sistema actual a una Temperatura a 510 °C y una misma presión

Tabla N° 19: Resumen del proceso para obtener la potencia efectiva del turbogenerador en función del bagazo utilizado.

Datos Ingreso		Molienda			Flujo Extracción		Ratio produc de vapor vs bagazo	Flujos de Vapor				
					Bagazo			Caldera	Equipos	Turbo 21.7 MW	Planta	P. GEN=E
		T.C.M.M	T.C.M.D	T.C.M.H	Adquirido	Utilizado		Generado	Consumido	Consumido	Consumido	
P [Bar]	T [°C]	[Ton Caña/Mes]	[Ton Caña/Día]	[Ton Caña/h]	m b [Ton/h]	m b [Ton/h]	m v [Ton/h]	m v [Ton/h]	m v [Ton/h]	m v [Ton/h]	[MW]	
41.00 2.40	510.00 134.00	161,200.39	5,200.01	236.39	71.28	53.22	2.08	110.70	57.83	52.87	110.70	10.408
41.00 2.40	510.00 134.00	139,516.74	4,500.54	204.57	61.68	46.58	2.08	96.88	53.50	43.38	96.88	8.540
41.00 2.40	510.00 134.00	124,010.79	4,000.35	181.83	54.83	41.83	2.08	87.00	50.32	36.68	87.00	7.211
41.00 2.40	510.00 134.00	108,513.02	3,500.42	159.11	47.97	37.08	2.08	77.12	47.08	30.04	77.12	5.906

4.1.5 SIMULACIÓN DEL BAGAZO SOBRENTE QUE QUEDA EN EL ALMACÉN DE LA EMPRESA

Esta simulación sirve para incrementar la potencia efectiva del turbogenerador. Y se hará para cada caso para ver su comportamiento y su salto entálpico.

CASO N° 01: Utilizando todo el stock de Bagazo Sobrante

Tabla N°20: Utilizando todo bagazo y con una nueva caldera que genera vapor sobrecalentado a una T= 400°C y P= 41bar

Molienda	Bagazo sobrante	Nueva caldera	Caldera Actual	P. GEN=E	Nueva P. GEN=E
T.C.M.D	m b [Ton/h]	m v [Ton/h]	m v [Ton/h]	[MW]	[MW]
5,200.00	18.06	28.28	110.70	6.800	10.307
4,500.00	15.11	23.68	96.88	5.580	8.516
4,000.00	13.00	20.39	87.00	4.718	7.246
3,500.00	10.89	17.09	77.12	3.864	5.984

CASO N° 02: Vapor sobrecalentado a una Temperatura de 450°C y a P=41bar

Tabla N° 21: Utilizando todo bagazo y con una nueva caldera que genera vapor sobrecalentado a una T=450°C P=41bar

Molienda	Bagazo sobrante	Nueva caldera	Caldera Actual	P. GEN=E	Nueva P. GEN=E
T.C.M.D	m b [Ton/h]	m v [Ton/h]	m v [Ton/h]	[MW]	[MW]
5,200.00	18.06	27.41	110.70	8.455	12.681
4,500.00	15.10	22.95	96.88	6.938	10.476
4,000.00	13.00	19.76	87.00	5.866	8.912
3,500.00	10.90	16.97	77.13	4.806	7.422

CASO N° 03: Vapor sobrecalentado a una T= 510°C y P= 41 bar

Tabla N° 22: Utilizando todo bagazo y con una nueva caldera que genera vapor sobrecalentado a T= 510°C y P=41bar

Molienda	Bagazo sobrante	Nueva caldera	Caldera Actual	P. GEN=E	Nueva P. GEN=E
T.C.M.D	m b [Ton/h]	m v [Ton/h]	m v [Ton/h]	[MW]	[MW]
5,200.00	18.06	26.42	110.70	10.408	15.422
4,500.00	15.10	22.11	96.88	8.540	12.736
4,000.00	13.00	19.04	87.00	7.211	10.834
3,500.00	10.89	15.97	77.12	5.906	8.946

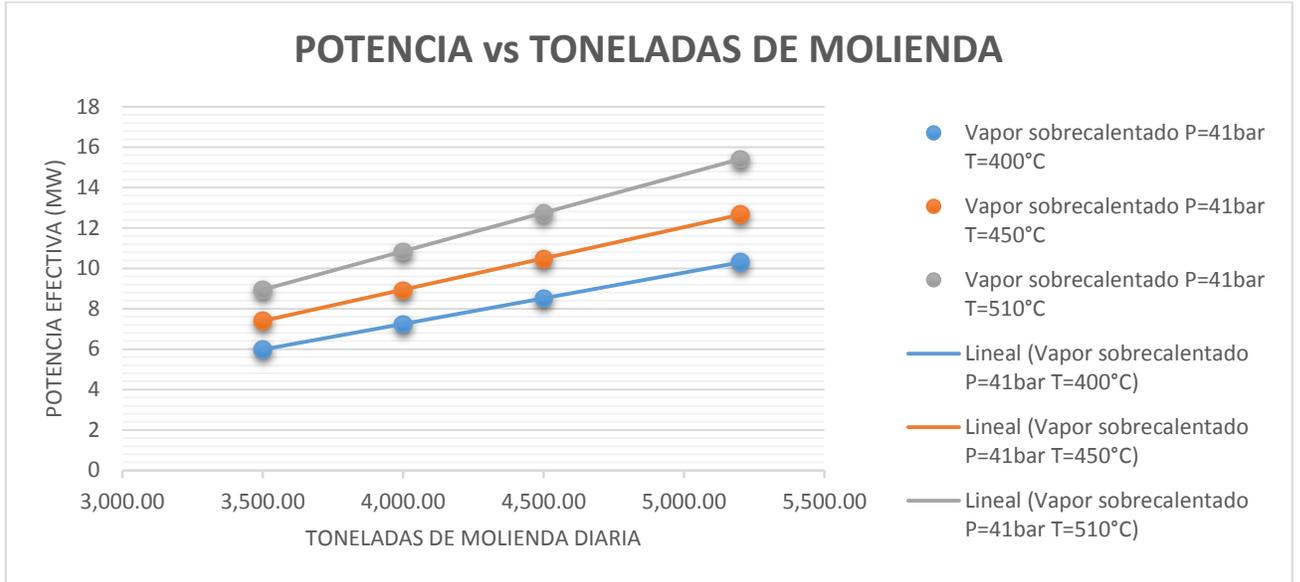
4.1.6 CUADRO DE LA POTENCIA EFECTIVA vs TONELADAS DE CAÑA

➤ En este caso podemos interpretar como incrementa la potencia efectiva

Tabla N° 23: POTENCIA vs T.C.M.D

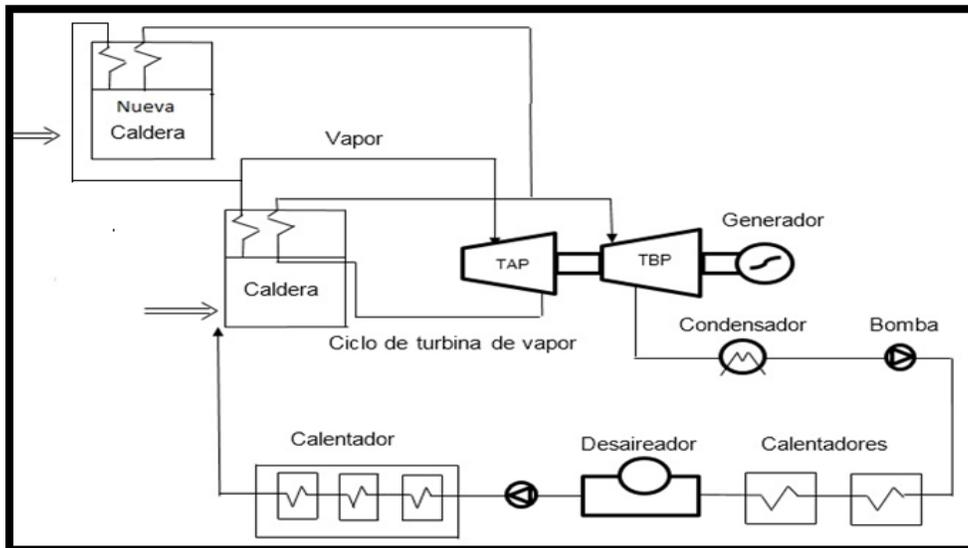
T.C.M.D	Vapor sobrecalentado P=41bar T=400°C	Vapor sobrecalentado P=41bar T=450°C	Vapor sobrecalentado P=41bar T=510°C
5,200.00	10.307 MW	12.681 MW	15.422 MW
4,500.00	8.516 MW	10.476 MW	12.736 MW
4,000.00	7.246 MW	8.912 MW	10.834 MW
3,500.00	5.984 MW	7.422 MW	8.946 MW

GRÁFICA N° 01: Resultados de la tabla N° 23



4.1.7 UTILIZANDO TODO EL BAGAZO EN STOCK PARA EL COMPORTAMIENTO DE LA POTENCIA EFECTIVA

FIGURA N°15: Nuestro Nueva Sistema con una Caldera Nueva a los mismos Parámetros.

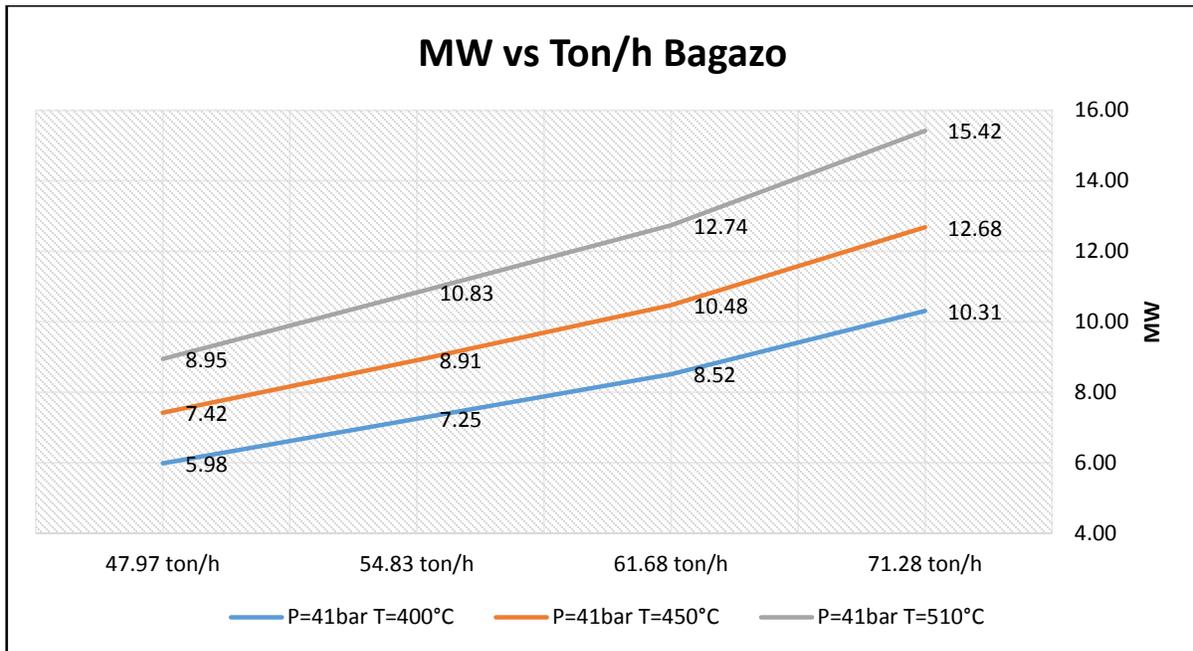


- Si utilizamos todo el bagazo en Stock obtendremos los siguientes datos en la tabla 24.

Tabla N° 24: TON/H DE BAGAZO vs POTENCIA

Total de Bagazo	Vapor Sobrecalentado P=41bar T=400°C	Vapor Sobrecalentado P=41bar T=450°C	Vapor sobrecalentado P=41bar T=510°C
71.28 ton/h	10.307 MW	12.681 MW	15.422 MW
61.68 ton/h	8.516 MW	10.476 MW	12.736 MW
54.83 ton/h	7.246 MW	8.912 MW	10.834 MW
47.97 ton/h	5.984 MW	7.422 MW	8.946 MW

GRÁFICA N° 02: Resultados de la Tabla N° 24



- **Características de la Nueva caldera**

TABLA N° 25: Datos de la Nueva Caldera.

Parámetros	Valor	Unidad
Datos de la caldera nueva		
Flujo másico de vapor sobrecalentado (mT cald.)	60.00	Tn/hr
Presión de vapor sobrecalentado (Pv sob.)	41.00	Kgf/cm2
Temperatura de vapor sobrecalentado (Tv sob.)	510.00	°C
Temperatura de ingreso del agua (Tai)	140.00	°C
Masa de bagazo consumido (mb cald.)	60.19	Tn/hr
Eficiencia en base húmeda del combustible ($\eta_c H$)	68.18	%
Eficiencia en base seca del combustible ($\eta_c S$)	87.15	%
Exceso de aire para la combustión (m)	40.00	%
Humedad del bagazo (w)	49.00	%

4.2 RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN ECONÓMICA

4.2.1 DETERMINACIÓN DEL VALOR ACTUAL NETO

Para la determinación del valor actual neto se tiene en cuenta la ecuación N° 03 del capítulo de marco teórico.

Del balance energético proyectado se determinan los equipos para la implementación del modelo más eficiente de operación, los días de zafra y las horas de operación, así como la potencia excedente para la venta a la red. Los costos de generación de energía, el precio de venta de la energía y potencia se toma como referencia de la tesis “análisis energético de una planta azucarera, caso agroindustrial san Jacinto”. Los costos de operación y mantenimiento se toman como referencia datos proporcionados del área de planificación de agroindustria san Jacinto.

Tabla N° 26: Costo de los equipos para la implementación del modelo más eficiente de operación y determinación del costo de inversión.

Parámetros	Unidad	Cantidad	Precio unitario (\$)	Precio parcial (\$)
Secador de bagazo	Und	1.00	250,000.00	250,000.00
Motores eléctricos	Und	9.00	60,000.00	540,000.00
Variadores de velocidad	Und	9.00	85,000.00	765,000.00
Cables y equipos adicionales	glb	1.00	400,000.00	400,000.00
Instalación y puesta en marcha de equipos	srv	1.00	100,000.00	100,000.00
Caldera bagacera FAIO/M&M modelo AV-130-GR DE 60 TON/H - compra e instalación	glb	1.00	10,000,000.00	10,000,000.00
Costo de inversión (I0) \$				12,055,000.00

Tabla N° 27: Parámetros característicos para el cálculo del ingreso neto anual por venta de excedentes.

Parámetro	Valor	Unidad
Potencia total generada	16.63	MW
Potencia total consumida en el ingenio	6.99	MW
Excedente de potencia	28.65	MW
Días de zafra	300.00	Días
Horas de operación de la central	24.00	Horas
Precio de la energía	30.400	\$/MWh
Precio de la potencia	6.489	\$/KW
Precio de generación de generación de energía	3.066	\$/MW
Energía anual generada	250,564.09	MWh/año
Excedente de energía anual	206,250.49	MWh/año
Ingreso por energía eléctrica	6,270,014.97	\$/Año

Ingreso por potencia	2,230,599.08	\$/Año
Retribuciones económicas totales percibidas	8,500,614.05	\$/Año
Costo anual de energía generada	786,625.51	\$/Año
Costo de operación y mantenimiento anual	250,000.00	\$/Año

Ingreso neto anual por venta de excedentes = retribuciones económicas totales percibidas - costo anual de energía generada – costo de operación y mantenimiento anual.

Tabla N° 28 Cálculo del Valor Actual Neto.

Parámetro	Valor	Unidad
Costo de inversión (I0)	12,055,000.00	\$
Ingreso neto anual por venta de excedentes (BNt)	3,463,988.54	\$/Año
Tasa de interés (i)	12.00	%
Vida útil del proyecto (n)	10.00	años
Valor actual neto (VAN)	6,765,268 ,873	\$

4.2.2 DETERMINACIÓN DE LA TASA INTERNA DE RETORNO

Para la determinación de la tasa interna de retorno se toma en cuenta la ecuación N° 02, así como los criterios del ítem de evaluación económica del capítulo de marco teórico donde se detalla que el TIR debe ser mayor a su tasa de interés para que el proyecto sea económicamente viable.

Considerando el VAN = 0. Se tiene:

Tabla N° 29: Cálculo de la Tasa Interna de Retorno (TIR)

Parámetro	Valor	Unidad
Tasa interna de retorno (TIR)	37	%

4.2.3 DETERMINACIÓN DE LA RENTABILIDAD DEL PROYECTO

Para la determinación de la rentabilidad de la inversión se tiene en cuenta la ecuación N° 03 del capítulo de marco teórico.

Tabla N° 30: Cálculo de la Rentabilidad del Proyecto (Pay Back)

Parámetro	Valor	Unidad
Rentabilidad del proyecto (Pay Back)	3	Años

CAPITULO V

CONCLUSIONES & RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Se obtuvo el índice de generación de vapor la cual es un valor de $2.08 \text{ kg}_{\text{vapor}}/\text{kg}_{\text{Bag}}$ y también con una humedad del 47.5%.
- Para la mayor eficiencia del turbogenerador, se debe adquirir una nueva caldera (Marca Bagacera: FAIO/M&M; Modelo: AV-130-GR) de $60 \text{ Ton}_{\text{vapor}}/\text{h}$ con los mismos parámetros de las calderas antiguas, a la misma presión y a la misma temperatura tanto como entrada y salida.
- El ahorro energético y económico en el incremento de la potencia efectiva es de 12 millones de dólares.
- La máxima capacidad en la empresa Agroindustrias San Jacinto es de 5200 T.C.M.D y se obtiene $137.12 \text{ Ton}_{\text{vapor}}/\text{h}$ para obtener una potencia efectiva de 15.42 MW. También se pudo hacer variaciones de toneladas de caña de azúcar, para poder incrementar la potencia efectiva, de 3500 T.C.M.D a 5200 T.C.M.D y se obtuvo que utilizando todo el bagazo disponible se incrementa la potencia efectiva de 3 MW a 15.42 MW.

T.C.M.D	Vapor sobrecalentado P=41bar T=400°C	Vapor sobrecalentado P=41bar T=450°C	Vapor sobrecalentado P=41bar T=510°C
5,200.00	10.307 MW	12.681 MW	15.422 MW
4,500.00	8.516 MW	10.476 MW	12.736 MW
4,000.00	7.246 MW	8.912 MW	10.834 MW
3,500.00	5.984 MW	7.422 MW	8.946 MW

5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un estudio más detallado para determinar cuál es el grado de influencia de la humedad del bagazo en el poder calorífico del mismo. Y su efecto en la generación de energía térmica en la Empresa San Jacinto.
- Se recomienda comprar una nueva caldera de 60 Ton_{vapor}/h que costara \$ 12 millones y será rentable el proyecto y el tiempo retorno es de 3 años, debido a que las unidades actuales son muy obsoletas y de muy bajo rendimiento.
- La Empresa de Agroindustrias San Jacinto, propone incrementar su potencia efectiva con el bagazo en stock, con el cual resulta favorable que los excedentes de energía eléctrica generados se inyecten a la red del SEIN, por lo tanto es necesario realizar un estudio referente a la calificación de la cogeneración.
- Se recomienda utilizar la máxima demanda de 5200 T.C.M.D si se desea obtener una mayor potencia efectiva en el turbogenerador.

BIBLIOGRAFÍA

DECRETO LEGISLATIVO:

- Ministerio de Energía y Minas. (2006). D.S N° 037-2006-EM. Reglamento de la Cogeneración en el Perú y sus Modificatorias. Decreto Supremo, Lima, Perú. 14 pp

LIBROS:

- Hugot, E. (1974). Manual para Ingenieros Azucareros (3 ed.). (C. Ruiz Coutiño, Trad.). CECSA. Paris, Francia. 803 pp.
- J.Morgan, M., & N. Shapiro, H. (2004). Fundamentos de Termodinámica Técnica (2 ed.). (J. A. Turegano, Trad.). Reverte .Madrid, España.863 pp.
- Mataix, C. (1991). Turbomaquinas Térmicas: Turbinas de Vapor - Turbinas de Gas - Turbocompresores (3 ed.). Dossat. Madrid, España. 1032 pp.

TESIS:

- DÍAZ BETETA ROBERT CÉSAR, “Influencia en la instalación del turbo generador de 21,7 Mw en la repotenciación de la central de cogeneración de agroindustrias san jacinto s.a.”-2016.
- VÁSQUEZ CENAS ÁNGEL OSWALDO, “Repotenciación de la Central de Cogeneración de la Empresa Agroindustrial San Jacinto para su Calificación según el D.S. N°037 - 2006-EM y poder inyectar sus Excedentes de Energía Eléctrica al S.E.I.N”-2010.
- QUISPE CHANAMPA CARLOS NICOLÁS, “Análisis Energético de un Sistema de Cogeneración con Ciclo Combinado y Gasificación para la Industria Azucarera” – Universidad de Piura 2010.

TEXTOS:

- DIAZ GARAY, “Esquemas de Cogeneración” CONAE – Comisión Nacional de Ahorro de Energía de México. 1995.105 pp.
- MUÑOZ SOLARES MARIO ROBERTO 2013 “Poder Calorífico de Bagazo Almacenado” (Caso Palo Gordo) – Especialista en Eficiencia Energética, CENGICANA.

ANEXOS

✓ DATOS PARA EL ÁREA DE TRAPICHE

CAPACIDAD DE AREA DE TRAPICHE - MOLINOS

C	204.575	T.C.H	Toneladas de caña hora promedio - considerando:
F	0.146		Fibra de Caña con Relación a la Unidad
C	1.328		Coficiente Relativo de los Aparatos de Preparación
N	4.500	Rpm	Velocidad del Molino
L	1.778	M	Longitud de las Mazas
D	0.965	M	Diámetro de las Mazas
N	20.000		Numero de mazas de Trapiche

Periodo / día	21.998	horas/día	Horas Efectivas
Tiempo Perdido	2.002	horas/día	Horas Perdidas
% de Tiempo Perdido	8.341	%	Porcentaje de Horas perdidas
CAPACIDAD OPTIMA	166.726	T.C.H	Toneladas de Caña / hora
	3667.651	T.C.D	Toneladas de Caña / día
CAPACIDAD REAL	4500.254	T.C.D	Toneladas de Caña / día

✓ BALANCE DE VOLUMEN

	Brix [%]	Pol [%]	Pureza [%]	Agua [%]	Fibra [%]
Jugo primario	16.46	15.47	94.00	84.01	
Jugo Mezclado	13.12	12.54	95.55	86.88	
Jugo Residual	1.90	1.84	-29.24		
Caña	13.71	12.89		71.25	15.04
Bagazo	2.55	1.73		47.57	49.88

MOLINO – 01			
A) Carga Fibrosa Especifica			
T	33.403	Kg/m3	Carga Fibrosa Especifica
C'01	241.000	TCH	Tonelada de Caña por hora que Ingresa al Molino
C 01	34.198	TFH	Tonelada de Fibra por Hora
Q	32.234	Kg/m2	Abertura de Molinos Trabajando
F	0.142		Fibra de Caña en Relación a la Unidad (Entrada)
D ext	0.965	m	Diámetro Exterior de Masas
n	3.480	rpm	Velocidad de Molino
L	1.676	m	Longitud de Masas
B) Presión Aplicada a la Masa Superior			
P	2500.00	Psi	Presión a la que se Sujeta la Fibra al Cilindro
Lado Piñón			
D1	304.800	mm	Diámetro del pistón hidráulico
A1	729.659	cm2	Área Transversal del Pistón Hidráulico
P1	128.280	Ton f	Fuerza Aplicada al Cilindro
Lado Cadena:			
D2	304.800	mm	Diámetro Del Pistón Hidráulico
A2	729.659	cm2	Área Transversal del Pistón Hidráulico
P2	128.280	Ton f	Fuerza Aplicada al Cilindro
PHT	256.561	Ton f	Presión Total Aplicada al Cilindro
C) Densidad verdadera de Fibra Comprimida			
p1	1550.678	Kg/m3	Densidad de la Fibra Comprimida
P	175.809	Kg/cm2	Presión a la que se sujeta la Fibra
D) Densidad del Jugo Bajo Presión			
p2	1120.15	Kg/m3	Densidad del Jugo Bajo Presión
p jugo	1.05	Ton/m3	Densidad del Jugo a la Presión Atmosférica
E) Densidad del Bagazo			
Densidad	1181.039	Kg/m3	Por ser el Bagazo una Mezcla Jugo y Fibra
F	0.186		Contenido de Fibra por Unidad de Bagazo (Salida)
F) Potencia Neta			
T neto	257.09	HP	
G) Rendimiento de Transmisión			
n1	0.955		Transmisión - Alta
n2	0.925		Transmisión - Intermedia
n3	0.925		Transmisión - Baja
nt	0.817		Transmisión Total
Engranajes Rectos		90 - 95 %	
Engranajes Helicoidales		93 - 98 %	
H) Potencia Total			
T total	314.670	HP	Potencia necesaria en el Eje del Turbo-Reductor
n tr	0.745		Eficiencia del Turbo - Reductor
T total	422.376	HP	Potencia en el Eje de la Turbina
T específico	12.351		Potencia Especifica
F.S	1.250		Factor de seguridad un 25% más ; según E. Hugot
T instalar	527.970	HP	Potencia a Instalar como Nuevo Accionamiento
T específico	15.439	HP/ TFH	Potencia Especifica

MOLINO - 02			
A) Carga Fibrosa Especifica			
t	35.986	kg/m ³	Carga Fibrosa Especifica
C'01	159.039	TCH	Tonelada de Caña por hora que Ingres a al Molino
C 01	29.534	TFH	Tonelada de Fibra por Hora
q	31.092	kg/m ²	Abertura de Molinos Trabajando
f	0.186		Fibra de Caña en Relación a la Unidad (Entrada)
D ext	0.864	M	Diámetro Exterior de Masas
n	3.480	Rpm	Velocidad de Molino
L	1.676	M	Longitud de Masas
B) Presión Aplicada a la Masa Superior			
P	2600.00	Psi	Presión a la que se Sujeta la Fibra al Cilindro
Lado Piñón			
D1	304.800	Mm	Diámetro del pistón hidráulico
A1	729.659	cm ²	Área Transversal del Pistón Hidráulico
P1	133.412	Tn f	Fuerza Aplicada al Cilindro
Lado Cadena:			
D2	304.800	Mm	Diámetro Del Pistón Hidráulico
A2	729.659	cm ²	Área Transversal del Pistón Hidráulico
P2	133.412	Tn f	Fuerza Aplicada al Cilindro
PHT	266.823	Tn f	Presión Total Aplicada al Cilindro
C) Densidad verdadera de Fibra Comprimida			
ρ1	1552.225	kg/m ³	Densidad de la Fibra Comprimida
P	182.841	kg/cm ²	Presión a la que se sujeta la Fibra
D) Densidad del Jugo Bajo Presión			
ρ2	1122.95	kg/m ³	Densidad del Jugo Bajo Presión
ρ jugo	1.05	Tn/m ³	Densidad del Jugo a la Presión Atmosférica
E) Densidad del Bagazo			
Densidad	1217.719	kg/m ³	Por ser el Bagazo una Mezcla Jugo y Fibra
F	0.281		Contenido de Fibra por Unidad de Bagazo (Salida)
F) Potencia Neta			
T neto	209.29	HP	
G) Rendimiento de Transmisión			
n1	0.955		Transmisión - Alta
n2	0.925		Transmisión - Intermedia
n3	0.925		Transmisión - Baja
nt	0.817		Transmisión Total
Engranajes Rectos		90 - 95 %	
Engranajes Helicoidales		93 - 98 %	
H) Potencia Total			
T total	256.168	HP	Potencia necesaria en el Eje del Turbo-Reductor
n tr	0.745		Eficiencia del Turbo - Reductor
T total	343.849	HP	Potencia en el Eje de la Turbina
T especifico	11.643		Potencia Especifica
F.S	1.250		Factor de seguridad un 25% más ; según E. Hugot
T instalar	429.812	HP	Potencia a Instalar como Nuevo Accionamiento
T especifico	14.553	HP/ TFH	Potencia Especifica

MOLINO – 03			
A) Carga Fibrosa Especifica			
T	44.543	kg/m ³	Carga Fibrosa Especifica
C'01	129.909	TCH	Tonelada de Caña por hora que Ingresa al Molino
C 01	36.556	TFH	Tonelada de Fibra por Hora
Q	38.485	kg/m ²	Abertura de Molinos Trabajando
F	0.281		Fibra de Caña en Relación a la Unidad (Entrada)
D ext	0.864	M	Diámetro Exterior de Masas
N	3.480	Rpm	Velocidad de Molino
L	1.676	M	Longitud de Masas
B) Presión Aplicada a la Masa Superior			
P	2700.00	Psi	Presión a la que se Sujeta la Fibra al Cilindro
Lado Piñón			
D1	304.800	Mm	Diámetro del pistón hidráulico
A1	729.659	cm ²	Área Transversal del Pistón Hidráulico
P1	138.543	Tn f	Fuerza Aplicada al Cilindro
Lado Cadena:			
D2	304.800	Mm	Diámetro Del Pistón Hidráulico
A2	729.659	cm ²	Área Transversal del Pistón Hidráulico
P2	138.543	Tn f	Fuerza Aplicada al Cilindro
PHT	277.086	Tn f	Presión Total Aplicada al Cilindro
C) Densidad verdadera de Fibra Comprimida			
ρ1	1553.772	kg/m ³	Densidad de la Fibra Comprimida
P	189.873	kg/cm ²	Presión a la que se sujeta la Fibra
D) Densidad del Jugo Bajo Presión			
ρ2	1125.76	kg/m ³	Densidad del Jugo Bajo Presión
ρ jugo	1.05	Tn/m3	Densidad del Jugo a la Presión Atmosférica
E) Densidad del Bagazo			
Densidad	1243.793	kg/m ³	Por ser el Bagazo una Mezcla Jugo y Fibra
F	0.345		Contenido de Fibra por Unidad de Bagazo (Salida)
F) Potencia Neta			
T neto	215.73	HP	
G) Rendimiento de Transmisión			
n1	0.955		Transmisión - Alta
n2	0.925		Transmisión - Intermedia
n3	0.925		Transmisión - Baja
Nt	0.817		Transmisión Total
Engranajes Rectos		90 - 95 %	
Engranajes Helicoidales		93 - 98 %	
H) Potencia Total			
T total	264.054	HP	Potencia necesaria en el Eje del Turbo-Reductor
n tr	0.745		Eficiencia del Turbo - Reductor
T total	354.435	HP	Potencia en el Eje de la Turbina
T específico	9.696		Potencia Especifica
F.S	1.250		Factor de seguridad un 25% más ; según E. Hugot
T instalar	443.044	HP	Potencia a Instalar como Nuevo Accionamiento
T específico	12.119	HP/ TFH	Potencia Especifica

MOLINO – 04			
A) Carga Fibrosa Especifica			
T	48.009	kg/m ³	Carga Fibrosa Especifica
C´01	114.372	TCH	Tonelada de Caña por hora que Ingres a al Molino
C 01	39.401	TFH	Tonelada de Fibra por Hora
Q	41.480	kg/m ²	Abertura de Molinos Trabajando
F	0.345		Fibra de Caña en Relación a la Unidad (Entrada)
D ext	0.864	M	Diámetro Exterior de Masas
N	3.480	Rpm	Velocidad de Molino
L	1.676	M	Longitud de Masas
B) Presión Aplicada a la Masa Superior			
P	2600.00	Psi	Presión a la que se Sujeta la Fibra al Cilindro
Lado Piñón			
D1	304.800	Mm	Diámetro del pistón hidráulico
A1	729.659	cm ²	Área Transversal del Pistón Hidráulico
P1	133.412	Tn f	Fuerza Aplicada al Cilindro
Lado Cadena:			
D2	304.800	Mm	Diámetro Del Pistón Hidráulico
A2	729.659	cm ²	Área Transversal del Pistón Hidráulico
P2	133.412	Tn f	Fuerza Aplicada al Cilindro
PHT	266.823	Tn f	Presión Total Aplicada al Cilindro
C) Densidad verdadera de Fibra Comprimida			
ρ1	1552.225	kg/m ³	Densidad de la Fibra Comprimida
P	182.841	kg/cm ²	Presión a la que se sujeta la Fibra
D) Densidad del Jugo Bajo Presión			
ρ2	1122.95	kg/m ³	Densidad del Jugo Bajo Presión
ρ jugo	1.05	Tn/m ³	Densidad del Jugo a la Presión Atmosférica
E) Densidad del Bagazo			
Densidad	1259.220	kg/m ³	Por ser el Bagazo una Mezcla Jugo y Fibra
F	0.391		Contenido de Fibra por Unidad de Bagazo (Salida)
F) Potencia Neta			
T neto	204.03	HP	
G) Rendimiento de Transmisión			
n1	0.955		Transmisión - Alta
n2	0.925		Transmisión - Intermedia
n3	0.925		Transmisión - Baja
Nt	0.817		Transmisión Total
Engranajes Rectos		90 - 95 %	
Engranajes Helicoidales		93 - 98 %	
H) Potencia Total			
T total	249.730	HP	Potencia necesaria en el Eje del Turbo-Reductor
n tr	0.745		Eficiencia del Turbo - Reductor
T total	335.209	HP	Potencia en el Eje de la Turbina
T especifico	8.508		Potencia Especifica
F.S	1.250		Factor de seguridad un 25% más ; según E. Hugot
T instalar	419.011	HP	Potencia a Instalar como Nuevo Accionamiento
T especifico	10.634	HP/ TFH	Potencia Especifica

MOLINO – 05			
A) Carga Fibrosa Especifica			
T	55.589	kg/m ³	Carga Fibrosa Especifica
C'01	116.590	TCH	Tonelada de Caña por hora que Ingresa al Molino
C 01	45.622	TFH	Tonelada de Fibra por Hora
Q	48.029	kg/m ²	Abertura de Molinos Trabajando
F	0.391		Fibra de Caña en Relación a la Unidad (Entrada)
D ext	0.864	M	Diámetro Exterior de Masas
N	3.480	rpm	Velocidad de Molino
L	1.676	M	Longitud de Masas
B) Presión Aplicada a la Masa Superior			
P	2700.00	Psi	Presión a la que se Sujeta la Fibra al Cilindro
Lado Piñón			
D1	304.800	mm	Diámetro del pistón hidráulico
A1	729.659	cm ²	Área Transversal del Pistón Hidráulico
P1	138.543	Tn f	Fuerza Aplicada al Cilindro
Lado Cadena:			
D2	304.800	mm	Diámetro Del Pistón Hidráulico
A2	729.659	cm ²	Área Transversal del Pistón Hidráulico
P2	138.543	Tn f	Fuerza Aplicada al Cilindro
PHT	277.086	Tn f	Presión Total Aplicada al Cilindro
C) Densidad verdadera de Fibra Comprimida			
ρ1	1553.772	kg/m ³	Densidad de la Fibra Comprimida
P	189.873	kg/cm ²	Presión a la que se sujeta la Fibra
D) Densidad del Jugo Bajo Presión			
ρ2	1125.76	kg/m ³	Densidad del Jugo Bajo Presión
ρ jugo	1.05	Tn/m ³	Densidad del Jugo a la Presión Atmosférica
E) Densidad del Bagazo			
Densidad	1279.423	kg/m ³	Por ser el Bagazo una Mezcla Jugo y Fibra
F	0.436		Contenido de Fibra por Unidad de Bagazo (Salida)
F) Potencia Neta			
T neto	212.64	HP	
G) Rendimiento de Transmisión			
n1	0.955		Transmisión – Alta
n2	0.925		Transmisión - Intermedia
n3	0.925		Transmisión – Baja
Nt	0.817		Transmisión Total
Engranajes Rectos		90 - 95 %	
Engranajes Helicoidales		93 - 98 %	
H) Potencia Total			
T total	260.273	HP	Potencia necesaria en el Eje del Turbo-Reductor
n tr	0.745		Eficiencia del Turbo - Reductor
T total	349.360	HP	Potencia en el Eje de la Turbina
T específico	7.658		Potencia Especifica
F.S	1.250		Factor de seguridad un 25% más ; según E. Hugot
T instalar	436.700	HP	Potencia a Instalar como Nuevo Accionamiento
T específico	9.572	HP/ TFH	Potencia Especifica

✓ RESUMEN:

POTENCIAS (HP) & EFICIENCIAS (%)

MOLINOS	M - 01	M - 02	M - 03	M - 04	M - 05
T neto [HP]	242.54	198.04	204.11	193.20	201.26
T total [HP]	296.864	242.400	249.829	236.469	246.346
n tr [%]	74.500	74.500	74.500	74.500	74.500
T total [HP]	398.475	325.369	335.341	317.408	330.665
T específico	13.727	12.978	10.807	9.490	8.538
F.S	1.250	1.250	1.250	1.250	1.250
T instalar [HP]	498.094	406.711	419.176	396.760	413.332
T específico [HP/TFH]	17.158	16.223	13.508	11.863	10.673
T específico [kw/TFH]	12.796	12.098	10.073	8.846	7.959

✓ **TURBINAS DE VAPOR**

TURBINAS VAPOR INGENIO			CALDERAS				Preparación CAÑA			MOLIENDA		
INGRESO DE DATOS			VTI C1	VTI C3	BOMBA WORTHINGTON	BOMBA WARREN	MACHETE 1	MACHETE 2	Desfibrador	T M 1	T M 2	T M 3
1	Potencia en eje	kW	198.00	198.00	167.36	115.86	458.24	483.70	445.51	987.82	890.80	451.25
		HP	265.52	265.52	224.43	155.37	614.50	648.64	597.43	1324.67	1194.56	605.13
2	Molienda	Ton Caña / Hora	204.58									
		Ton Caña / Día	4500.25									
3	Rendimiento mecánico		0.82	0.82	0.88	0.88	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82
4	Rendimiento mecánico, hm(REDUCTOR)		-	-	-	-	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98
5	Rendimiento mecánico, hm(TRANSMISION ABIERTA)		-	-	-	-	-	-	-	0.85	0.85	0.85
6	Presión vapor entrada	kPA	4100	4100	4100	4100	4100	4100	4100	4100	4100	4100
7	Temperatura vapor entrada	°C	400.00	400.00	400.00	400.00	400.00	400.00	400.00	400.00	400.00	400.00
8	Presión vapor escape	kPA	225	225	225	225	215.8	227.53	213.74	287.99	193.05	213.74
9	Temperatura vapor escape	°C	228	228	225	225	220	190	200	235	230	230
10	Temperatura medio ambiente	°C	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25