

## Estudio de reemplazo de turbinas a contrapresión por motores eléctricos en el área de molienda para mejorar la cogeneración de energía eléctrica de la empresa Caña Brava

Study of replacement of turbines to back pressure by electric motors in the grinding area to improve the cogeneration of electric power of the company Caña Brava

Héctor Eli Reyes Escobedo<sup>1</sup>

### RESUMEN

En el presente proyecto se determinó el estudio de reemplazo de turbinas a contrapresión por motores eléctricos de inducción para mejorar el uso de energía eléctrica en la empresa caña brava. Realizándose un balance de masa y energía para determinar la eficiencia de la caldera y planta termoelectrica actual. Se calculo la nueva red de tuberías en mejora para la alimentación de vapor a las turbinas de contrapresión, se dimensiono los generadores eléctricos trifásicos y conductores eléctricos en media tensión para el transporte de energía al transformador, el cual fue también dimensionado y seleccionado. Se dimensionó los motores eléctricos jaula de ardilla, variadores de velocidad para tener mejor controlabilidad de los molinos y picadoras y conductores eléctricos en baja tensión.

El incremento de la eficiencia de caldera es de 8.08% y 3.78% de la planta termoelectrica en condiciones de mejora. El excedente de energía eléctrica para la venta al SEIN es de 1.45MW, obteniendo un ingreso anual de 2133936 N.S./año, si el precio preferencial a través de Osinergmin es de 60 \$/MWh. El periodo de retorno de la inversión es 0.33 años, a una tasa de 15% obteniendo un VAN igual a \$10343191 y un TIR de 304%.

**Palabras clave:** Cogeneración, eficiencia, inducción, planta termoelectrica, variador.

### ABSTRACT

In this project, it was determined the study of back pressure turbine replacement by electric motors of induction for the use of electrical energy in the company Cana Brava. A mass balance and energy to determine the efficiency of the current thermoelectric plant and boiler. We calculated the new network of pipes in improvement for the steam supply to the turbine backpressure, modeled reflective the electric generators and electrical conductors in medium voltage for the transport of energy to the transformer, which was also sizing and selected. Is modeled reflective the squirrel cage electric motors, variable speed drives for better controllability of the Mills and grinders and electrical conductors in low voltage.

The increase in the efficiency of boiler is of 8.08% and 3.78% of the thermoelectric plant in terms of improvement. The electric energy surplus for sale to the SEIN is 1.45MW, earning an annual income of 2133936 N.S./year, if the preferential price through Osinergmin is 60 \$/MWh. The returns period of the investment is 0.33 years, a rate of 15% obtaining a NPV equal to \$ 10343191 and a IRR of 304%.

**Keywords:** Cogeneration, efficiency, induction, thermoelectric plant, variator.

<sup>1</sup> Universidad César Vallejo. Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica. E-mail: hector\_r\_e@hotmail.com

## 1. INTRODUCCIÓN

La empresa Caña Brava perteneciente al Grupo Romero que se dedica exclusivamente a la producción de etanol a partir de la caña de azúcar. Cuenta con 9,400 hectáreas de caña, pero solamente hasta la actualidad tiene 6100 hectáreas tierras eriazas convertidas a tierras de cultivo, que son irrigadas por un sistema de goteo que permite utilizar de forma eficiente el agua del valle del Chira (Expediente PB-E45: Mejoramiento y ampliación del servicio de agua del sistema de riego, extensión del Fundo San Vicente), en el departamento de Piura. El Ingenio tiene una capacidad de producción de 370 mil litros de etanol por día, con una molienda de 4300 toneladas diarias de caña. (<http://www.canabrava.com.pe/>). La empresa Caña Brava, en el área de molienda cuenta con 8 molinos y 4 picadoras de caña impulsadas por 6 turbinas a contrapresión las cuales consumen 65.13 TM/h de vapor, produciendo en la actualidad una potencia mecánica de 3.9 MW, pero los molinos y picadores en conjunto solo consumen 3.17MW, debido a pérdidas mecánicas en el sistema de transmisión. La potencia nominal de las turbinas es de 8 MW, las cuales no están operando a sus potencias nominales.

La planta desea ampliar su sembrío de caña hasta las 9000 hectáreas, así mismo se necesitará instalar bombas hidráulicas para su irrigación, con extracción de agua del subsuelo, cuyo requerimiento es de 2.9 MW de energía eléctrica para las bombas hidráulicas; la empresa evalúa la comprar de energía eléctrico al SEIN (servicio eléctrico interconectado nacional, la cual le impondría un costo unitario de 0.075 \$/KWh, con un costo anual de 1905300 \$/año.

Debido a esta problemática la empresa evalúa el estudio de reemplazar las turbinas de vapor por motores eléctricos trifásicos de inducción jaula ardilla, por lo que se tendría una mejor cogeneración de energía eléctrica, lo que permitiría cubrir la demanda de las bombas y tener un excedente de energía eléctrica para venta al SEIN, por otro lado, el precio de compra de energía dado por Osinergmin es de 60 \$/MWh.

Teniendo en cuenta que en la actualidad la empresa Caña Brava cogenera su propia energía eléctrica a través de 2 turbogeneradores de 10.2MW con turbina a contrapresión y 2.75MW con turbina a condensación pura, los cuales ya están operando a sus capacidades nominales; contando con 1 caldera acuotubular de 60 bar y 450°C, la cual genera actualmente 144.119 TM/h de vapor sobrecalentado, pero con una capacidad máxima de generación de 350 TM/h, actualmente la caldera consume 88.67 TM/h de bagazo.

## 2. CONTENIDO

El fundamento teórico de nuestro estudio son los principios de la termodinámica, transferencia de calor y

eficiencia energética aplicados a la industria.

El caldero acuotubular tiene una capacidad de 350 TM/h de vapor, utiliza el bagazo de caña como combustible cuyo PCI es 7500 KJ/Kg, el agua entra a 100°C y el aire a 90°C, los gases residuales salen a 300°C. Los Turbogeneradores de contrapresión y condensación pura operan a sus capacidades nominales de 10.2MW y 2.75MW cuya presión de entrada es de 60 bar@ y a la salida de 1.15bar @ y temperatura de 110°C en contrapresión y condensación a 0.5bar@.

Las turbinas a contrapresión: Las 4 primeras tienen una capacidad de nominal de 1.5MW y las 2 últimas de 1MW, sus presiones a la entrada son de 20 bar@ y 320°C y a la salida es de 1.25bar@ y 190°C de temperatura.

- Balance de masa y energía, [3]

$$\sum \dot{m}_{entrada} * h_{entrada} = \sum \dot{m}_{salida} * h_{salida} \dots (1)$$

-Rendimiento de una caldera acuotubular: [8]

$$\eta_{caldera} = \frac{\dot{m}_v * (h_v - h_{agua})}{\dot{m}_{cble} (h_{cble} + PCI + R_{a/cble} * h_a)} \dots (2)$$

Rendimiento de la planta termoeléctrica:

$$\eta_{p.T.} = \frac{\sum P_{T.G.} + \sum \dot{Q}_{útil_{T.C.}} + \sum \dot{Q}_{útil_{I.C.}}}{\dot{Q}_{total}} \dots (3)$$

-Potencia mecánica o de eje: [5]

$$P_{eje} = \dot{m}_v * (h_e - h_s) \dots (4)$$

-Generador eléctrico: [4]

$$P_{G.E.} = P_{eje} * \eta_m * \eta_{G.E.} \dots (5)$$

Análisis Hidráulico de Tuberías y accesorios de Vapor: [3]

-Dimensionamiento de Tuberías:

$$\dot{m}_v = \rho_v * V_v * S \dots (6)$$

$$S = \frac{\pi * d_{int}^2}{4} \dots (7)$$

$$d_{int} = \sqrt{\frac{4 * S}{\pi}} \dots (8)$$

-Número de cédula.

$$\text{Número de shedule} = 1000 \left(\frac{P}{S}\right) * f.s \dots (9)$$

-Pérdidas de calor en superficie desnuda: [2]

$$\dot{q}_{p,aisl}^{sin} = \frac{T_v - T_o}{\frac{1}{2\pi} \left[ \frac{1}{r_{int} * h_{int}} + \frac{\ln\left(\frac{d_{ext}}{d_{int}}\right)}{k_t} + \frac{1}{r_{ext} * h_{ext}} \right]}$$

-Números adimensionales. [2]

Prandtl (Pr):

$$Pr = \frac{C_p * \mu}{k} \dots (11)$$

Número de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho * V * dh}{\mu} \dots (12)$$

Número de Nusselt.

Para transferencia interna.

$$Nu = 0.023 * (Re^{0.8} * Pr^n) \dots (13)$$

Coefficiente de convección:

$$h = \frac{Nu * k}{dh}$$

El coeficiente de convección pared-medio ambiente, se calcula [1]

$$h_{p-\infty} = 11.6 + 6.96 * \sqrt{U_{viento}} \dots (15)$$

-Potencia térmica de convección en superficie aislada:

$$Q_{p_{\text{aislada}}} = Q_{p_{\text{desnada}}} * (1 - \eta_{\text{aislante}}) \dots (16)$$

Temperatura promedio entre el aislante:

$$T_m = \frac{T_{\text{pint.aislada}} + T_{\text{pext.aislada}}}{2} \dots (17)$$

-Transformador Trifásico: [4]

$$P_{\text{trafo}} = P_{\text{cje}} * \eta_m * \eta_{G.E} * \eta_{\text{trafo}} \dots (18)$$

Potencia Aparente:

$$S_n = \frac{P_{\text{trafo}} * f.s}{\cos\phi} \dots (19)$$

Intensidad eléctrica: [6]

Intensidad nominal.

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} * U_n} \dots (20)$$

Intensidad de diseño.

$$I_d = \frac{I_n}{F_1 * F_2 * F_3} \dots (21)$$

Resistencia eléctrica: [6]

$$R_{cd} = \frac{\rho * L}{S} \dots (22)$$

$$R_{\text{max}} = R_{\text{min}} * (1 + \alpha * \Delta T) \dots (23)$$

Reactancia inductiva e Impedancia:

$$Z = \sqrt{R_{\text{max}}^2 + X_L^2} \dots (24)$$

Motores eléctricos: [7]

**Motor de inducción:** Estos motores funcionan a una velocidad constante, por su simplicidad, robustez y bajo costo en su instalación y mantenimiento, es el más utilizado en la industria. [7]

Periodo de retorno de la inversión: [9]

$$PRI = \frac{\text{Inversión (N.S)}}{\text{Beneficio (N.S)} / \left(\frac{\text{N.S}}{\text{Año}}\right)} \dots (25)$$

Valor actual neto: [9]

Tasa interna de retorno (TIR): [9]

### 3. RESULTADOS

De la ecuación 2, se obtuvo una eficiencia actual de la caldera de:

$$\eta_{\text{cald}} = 0.5437 = 54.37\%$$

De la ecuación 3, se obtuvo un rendimiento de la planta termoeléctrica en condiciones actuales de:

$$\eta_{\text{P.T.}} = 0.4723 = 47.23\%$$

De la ecuación 3, se obtuvo las potencias de eje o mecánica de las turbinas en condiciones actuales, las cuales se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 01. Resumen de las potencias mecánicas producidas por las turbinas.

TURB.	FLUJ. DE VAP (kg/s)	POT. MECÁNICA (KW)
TC 01	2.916	628.6896
TC 02	3.008	648.5248
TC 03	3.5	754.6
TC 04	3.055	658.658
TC 05	2.805	604.758
TC 06	2.805	604.758

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 02. Resumen comparativo del vapor sobrecalentado de las T. C. en estado actual y mejora.

Parámetros	Estado actual	Estado de mejora
Flujo másico del vapor	65.13TM/h	133.5744 TM/h
Potencia mecánica	3.9 MW	8 MW
Potencia consumida (M y P)	3.17 MW	7.51 MW

Fuente: Elaboración propia.

El excedente de energía eléctrica para venta al SEIN sería de 1.45MW.

De las ecuaciones 6, 7, 8 y 9; Se obtiene los nuevos diámetros nominales de las tuberías ASTM A192, y se muestran en la tabla 3.

**Tabla 03.** Resumen de las dimensiones de las tuberías en los diferentes tramos.

TRAMOS	NPS (Pulg)	SCH
O-A	10	80
A-B	12	60
B-C	10	60
C-D'	6	40
D'-D, E-F, G-H y I-J	6	40
O-P, Q-R, S-T y U-V	22	10
C-E	14	30
E-G	12	30
G-I	10	30
I-K	8	30
K-L, K-M y M-N	5	40
W-X y Y-Z	18	10
P'-Z'	52	10
R'-R'', T'-T'', V'-V'' y X'-X'''	26	10

Fuente: Elaboración propia.

De la ecuación 10 hasta la 17, se obtiene el espesor del aislante de la lana de roca mineral.

**Tabla 04.** Espesores del aislamiento en los diferentes tramos.

Selección de motores eléctricos (DELCROSA), variadores de velocidad (ALLEY BRADLEY) y conductores eléctricos (AWG).

TRAMOS	Op, sin aisl. (W/m)	Op, con aisl. (W/m)	Dext. Aisla. (m)	Esp. del aisl. (pug)
O-A	11143.487	1170.066	0.3411	1.5
A-B	12522.448	1314.857	0.3889	1.5
B-C	10574.658	1110.339	0.3239	1.5
C- D'	4438.699	466.063	0.2268	1.5
D'-D, E -F, G-H y I-J	4438.699	466.063	0.2268	1.5
O-P, Q-R, S-T y U-V	6049.611	635.209	0.5992	1
C- E	9277.041	974.089	0.4093	1.5
E-G	8453.314	887.598	0.3779	1.5
G-I	7142.268	749.938	0.328	1.5
I-K	5726.189	601.25	0.2753	1.5
K-M	3729.724	391.621	0.2016	1.5

K-L y M-N	3729.724	391.621	0.2016	1.5
W-X y Y-Z	4994.302	524.402	0.4977	1
P'-Z'	13391.674	1406.126	1.3598	1
R'-R'', T'-T'', V'-V'' y X'-X'''	6999.652	734.963	0.6998	1

Fuente: Elaboración propia.

- Se seleccionó los motores trifásicos jaula de ardilla para los 2 primeros molinos los cuales muestran las siguientes características: Pn=295KW, 6 polos, 589.8 Amp., F.P.=0.79, tensión 380v y eficiencia de 94.7%.

- Se seleccionó los motores trifásicos jaula de ardilla para los molinos 3, 4, 7 y 8 los cuales muestran las siguientes características: Pn=330KW, 6 polos, 662.1 Amp., F.P.=0.79, tensión 380v y eficiencia de 95%.

- Se seleccionó los motores trifásicos jaula de ardilla para los molinos 5 y 6 los cuales muestran las siguientes características: Pn=370KW, 4 polos, 652.6 Amp., F.P.=0.89, tensión 380v y eficiencia de 95.2%.

- Se seleccionó los motores trifásicos jaula de ardilla para las picadoras 1, 2, 3 y 4 los cuales muestran las siguientes características: Pn=255KW, 8 polos, 535.1 Amp., F.P.=0.77, tensión 380v y eficiencia de 95%.

- Los variadores seleccionados fueron 3, para un rango de potencia de 150 – 4100kw, tensiones de 208 – 575 v, de 16 entradas y 16 salidas, con una velocidad mínima de 5 rpm, operan a 60Hz.

**Tabla 05.** Sección de los conductores eléctricos.

Selección de los generadores eléctricos (WEG), conductores eléctricos (INDECO) y Transformadores (DELCROSA).

MOTOR	INT. NOM. (A)	L. (m)	SECCION (mm2)
M01 y M02	589.8	130 y 136	3-1X253
M03 y M04	662.1	125 y 131	3-1X303
M05	652.6	120	3-1X253
M06	652.6	127	3-1X303
M07	662.1	115	3-1X253
M08	662.1	122	3-1X303
M09 y M10	535.1	111 y 118	3-1X202
M11 y M12	535.1	106 y 114	3-1X202

Fuente: Elaboración propia.

Para las Turbinas 1, 2, 3 y 4; Se seleccionó los generadores trifásicos de las siguientes características: Carcasa 450, voltaje de 4160v, P<sub>Eléctrica</sub>=1500KW, 4polos, 1800rpm, T<sub>op</sub>=125°C, F.P.= 0.8 y a 60 Hz.

Para las Turbinas 5 y 6; Se seleccionó los generadores trifásicos de las siguientes características: Carcasa 400, voltaje de 4160v,  $P_{\text{Eléctrica}}=960\text{KW}$ , 4polos, 1800rpm,  $T_{\text{op.}}=125^{\circ}\text{C}$ , F.P.=0.8 y a 60 Hz.

- Los conductores eléctricos en media tensión fueron:

**Tabla 06.** Características de los conductores eléctricos en media tensión.

TURBINA	INT. DIS. (A)	VOL. (KV)	SECCION (mm2)	INT. NOM COND. (A)
TC01, TC02 TC03 y TC04	345.54	3.6/6	3-1X120	365
TC05	221.03	3.6/6	3-1X70	270
TC06	221.03	3.6/6	3-1X70	270
TC01 y TC02	691.08	6/10	3-1X500	740
TC03 y TC04	691.08	6/10	3-1X500	740

Fuente: Elaboración propia.

Se eligió 2 transformadores los cuales presentan las siguientes características:  $P_n=5\text{MVA}$ , F.P.= 0.8, Tensión=4.16/0.46KV y a 60 HZ.

- Nuevo consumo de combustible del caldero.

De la ecuación 1:  $\dot{m}_{\text{cble}} = 36.328 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$

- El rendimiento del caldero en condiciones de mejora será de: 62.45%

- El rendimiento de la planta en mejora será de:

$$\eta_{\text{P.T.}} = 51.05\%$$

- El beneficio útil será de:

$$B_{\text{util}}: 1874210.437 \frac{\text{US\$}}{\text{año}}$$

- Los costos de la inversión serán de:

$$616010.80\text{\$}$$

El periodo de retorno de la inversión es de:

$$\text{R.O.I.} = \frac{606010.80\text{\$}}{1874210.44 \frac{\text{\$}}{\text{año}}} = 0.33 \text{ años} = 3.3 \text{ meses}$$

Con una tasa de interés de 15% en un periodo de 15 años el TIR es de 304% con un VAN de \$ 10,343,191.

#### 4. DISCUSIONES

- Se realizó un balance de masa y energía a la planta termoeléctrica en condiciones actuales y se obtuvo un rendimiento de 47.23% y una eficiencia de la caldera de 54.37% en condiciones actuales. Paredes (2010), determinó el rendimiento de su planta termoeléctrica (Cartavio) fue de 58.5 %. Siendo el rango aceptado técnicamente de 50% a 70%, por lo que nuestros resultados están fuera de los rangos referido, lo cual se pretende mejorar y así poder acercarse al rango establecido.

- Se determinó, que la potencia actual producida por los turbogeneradores es de 10.2MW y 2.7MW, corroborando así los datos brindados por la empresa; Cueva, Molina & Matute (2009), sigue los mismos lineamientos de cálculo teórico para obtener las potencias de sus turbogeneradores. Siendo estos aceptables según el autor García Trasancos en su libro cogeneración y Chapman en su libro maquinas eléctricas.

- La potencia mecánica actual producida por cada turbina es: TC 01=628.68925kw, TC 02=648.5248kw, TC 03=754.6kw, TC 04=658.568kw, TC 05=604.758kw y TC 06=604.758kw.

Cueva, Molina & Matute (2009), sigue los mismos lineamientos para obtener las potencias de sus turbogeneradores. Realizó el mismo cálculo para encontrar la potencia mecánica en los ejes de las turbinas, siendo aceptables según el autor García Trasancos en su libro cogeneración.

- El nuevo consumo de vapor demandado por las turbinas a contrapresión en estado de mejora es 133.5744TM/h, con un incremento de 68.4444Tm/h con respecto del estado actual. La potencia producida por las turbinas será de 7.51MW teniendo un incremento de 4.34MW y así obteniendo para la venta al SEIN un excedente de 1.45MW; Aguilar (2010), en su estudio siguió los mismos principios de cálculo para determinar el nuevo consumo de vapor de turbinas, por ende, generar e incrementar su potencia eléctrica y así cubrir su demanda y tener un excedente de energía eléctrica de 2.02MW para venta al SINAC. De esta manera son aceptables los cálculos realizados según el autor Cengel en su libro Transferencia de calor y masa, lo cual demuestra que nuestros cálculos están bien fundamentados.

- Se cálculo y seleccionó una nueva red de tuberías para un flujo másico de vapor de 212.5634TM/h en estado de mejora, para lo cual se encontró número de cedula, vida de tubería, diámetro nominal, aislante, accesorios en general y estructuras; Cueva, Molina & Matute (2009), en su estudio calcularón su nueva red de tuberías de vapor sobrecalentado, siguiendo los mismos procedimientos de dimensionamiento. Todos estos basados en las teorías de Cengel en su libro Transferencia de calor y masa, Beltran Pulido en su tesis Conversión térmica de energía, Cao (Transferencia de calor en ingeniería de procesos), Fredman, Young y Semansky (Física universitaria) y Budynas, Richard y Keith (Diseño de ingeniería mecánica de shiley), los cuales son libros, tesis bien fundamentados.

- Se dimensionó y seleccionó generadores eléctricos trifásicos de la marca WEG; Se seleccionó 2 transformadores de 5MVA cuya tensión es 4.160/0.460KV para una potencia aparente de 9.4MVA; Los conductores eléctricos seleccionados fueron de la marca INDECO para media tensión. Aguilar (2010), en su estudio realizo mismo criterio para dimensionar y seleccionar generadores y sistema eléctrico. Esté estudio

fue basado en la teoría de García Trasancos en su libro Instalaciones eléctricas y del manual técnico en línea Cables y accesorios para media tensión.

- El rendimiento de la planta termoeléctrica se incrementó en un 3.82% y la eficiencia de la caldera llegó a un 62.45%. El consumo de combustible actual fue de 88.67TM/h de bagazo y el de mejora es 130.7808TM/h, el cual se debe al incremento de la producción de vapor; Paredes (2010), en su estudio el incremento del rendimiento de su planta fue un 18.7% y su flujo másico de combustible no se especifica, pero se basó en la misma teoría de cálculo, Las teorías tomadas fueron de Severns en su libro Energía mediante vapor o gas, y Cengel en su libro transferencia de calor y masa. La variación del rendimiento de la planta en mi caso salió, pero se siguió los mismos lineamientos establecidos en las teorías.

- El beneficio útil fue 1874210.437 US\$ /año y la inversión 616010.80 S\$, así obteniendo un retorno de la inversión de 0.33 años, a una tasa de 15% el VAN resulta ser \$10343191 con un TIR de 304%, Aguilar (2010), su retorno de la inversión fue de 1.82 años, a una tasa de interés de 15% obtuvo un VAN de \$1943879.07 y un TIR de 47%. Este estudio se desarrolló utilizando la teoría de Sullivan en su libro Ingeniería económica, lo que fundamenta que nuestros cálculos obtenidos son los correctos, aun cuando nuestros resultados varíen considerablemente.

## 5. CONCLUSIONES

- Se realizó un balance de masa y energía y se determinó que el rendimiento de la planta termoeléctrica es 47.27%, y la eficiencia de la caldera es 54.37% en condiciones actuales.
- Los turbogeneradores están produciendo la misma potencia eléctrica, 10.2 Mw y 2.75 Mw por ende, no hay pérdidas y se corrobora los datos brindados por la empresa.
- Las potencias mecánicas actuales producidas por las turbinas son: TC 01=628.68925kw, TC 02=648.5248kw, TC 03=754.6kw, TC 04=658.568kw, TC 05=604.758kw y TC 06=604.758kw.
- Se determinó que el nuevo consumo de vapor por las turbinas a contrapresión que es de 133.544TM/h y se tiene un excedente de energía eléctrica de 1.45MW para la venta al SEIN.
- Se utilizó tuberías ASTM A192 sin costura, aislamiento de lana de roca mineral, estructuras ASTM perfil en H, juntas de dilatación lineal, válvulas compuerta y cimientos, debido a que el flujo másico de vapor se incrementó para generar más energía eléctrica ver cuadros 13, 14 y 15.
- Se seleccionó motores eléctricos de inducción jaula de ardilla de la marca DELCROSA para una tensión de 380v, para el accionamiento de molinos y picadoras; Generadores Trifásicos de la marca WEG modelo GTA20, de 4.16KV y 1800rpm de 4 polos; Variadores

de velocidad de la marca ALLEN BRADLEY modelo POWER FLUX700, para tensiones de (208-575) V con 16 entradas y 16 salidas, su velocidad mínima de rotación es 5rpm.

- Después de hacer el cálculo respectivo se pasó a seleccionar los Generadores Trifásicos de la marca WEG modelo GTA20, de 4.16KV y 1800rpm de 4 polos; dos transformadores trifásicos de  $S_n = 5\text{MW}$ , marca delcrosa con un voltaje de 4.16KV/0.46KV y culminando con la selección conductores eléctricos en media tensión, modelo N2XSY de 3.6/6kv y N2XSY de 6/10kv en unión tripolar de en marca INDECO.
- El nuevo rendimiento de la planta termoeléctrica se incrementó en un 51.05% y su consumo de combustible es 130.7808TM/h de bagazo.
- El periodo de retorno de la inversión es 0.33 años, a una tasa de 15% obteniendo un VAN igual a \$10343191 y un TIR de 304%.

## 6. RECOMENDACIONES

- Se debe verificar mediante un cálculo técnico el funcionamiento de cada turbogenerador y así verificar que estos estén funcionando a sus potencias nominales.
- Tener en cuenta en la selección de tuberías el número de cedula sea la adecuada a utilizar.
- Se debe seleccionar los motores de acuerdo con la carga demandada.
- Los variadores de velocidad deben trabajar al mismo voltaje que los motores y así evitar, cualquier falla futura.
- Los generadores eléctricos trifásicos, se deben seleccionar de acuerdo con la potencia mecánica de la turbina y en el mayor voltaje posible para evitar pérdidas de potencia en el transporte de energía.
- El transformador debe seleccionar con el voltaje de alta de acuerdo con la tensión de entrada y en baja de acuerdo con las tensiones a utilizar por las cargas.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Beltran Pulido, R. Conversión Térmica de Energía. Bogotá: Universidad de los Andes, Facultad de ingeniería, 2008. ISBN 978 958 695 385 6.
- [2] Cao, Eduardo. Transferencia de calor en ingeniería de procesos. Argentina: Printed, 2004. 438p. ISBN: 98743-8620-7
- [3] Cengel Yunus, A. Transferencia de calor y masa. Pérez Castellanos, José (trad.). Tercera edición. México: Mc Graw Hill, 2007. 930p. ISBN: 978-970-10-672930-3.
- [4] Chapman, Stephen. Maquinas eléctricas, Roza Castillo, Eduardo (trad.). Tercera edición. México: Mc Graw Hill, 2000. 775 p.

- [5] García Garrido, Santos y Fraile Chico, Diego. Cogeneración, diseño, operación y mantenimiento de plantas de cogeneración. Díaz de Santos (ed.) Madrid: Copyright, 2008. 564p.
- [6] García Trasancos, José. Instalaciones eléctricas. Sexta edición. Madrid: Paraninfo S.A, 2008. 424p. ISBN: 978-84-283-3190-6
- [7] Lawrie, Robert. Motores Eléctricos. Primera edición. México: Océano/Centrum, 2006. 200p.
- [8] Severns, W., Degler, H. y Miles, J. C. Energía mediante vapor, aire o gas. Cuarta edición. Barcelona: Reverter S. A., 2007. 503p. ISBN: 84-291-4890-6.
- [9] Sullivan, William, Wicks, Elin y Luxhoj, James. Ingeniería Económica de Desarmo. Duodécima edición. México: Pearson Educación, 2004. 736p. ISBN: 970-26-0529-6.

