
Influencia del incremento de la potencia efectiva en cogeneración de energía de la empresa Cartavio S.A.A – Perú.**Influence of the increase of the effective power in cogeneration of energy of the company Cartavio S.A.A – Peru.****Influência do aumento da potência eficaz em cogeração de energia da empresa Cartavio S.A.A. – Peru.****Freddy Fernando Cam Zavaleta¹**

Resumen

Se ha determinado la influencia de la potencia efectiva generada en los turbogeneradores de la empresa Cartavio S.A.A en las características de la cogeneración, realizándose un estudio de la demanda térmica, eléctrica, potencia térmica suministrada y del stock de bagazo disponible, con la finalidad de poder validar la hipótesis de esta investigación que conllevan a una alternativa de solución que permite cubrir la demanda eléctrica en su totalidad y generar excedente de potencia efectiva la cual se inyecta al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional teniendo en cuenta el rendimiento eléctrico efectivo establecido en el Reglamento de Cogeneración del Perú. Se ha determinado que el incremento de la potencia efectiva de generación a 9.5 MW permite cubrir en su totalidad la demanda requerida por la empresa y calificar con un REE de 0.378 para la inyección de 1 MW de potencia efectiva excedente de nuestro sistema de cogeneración.

Palabras clave: Cogeneración, demanda térmica, potencia efectiva.

Abstract

It has been determined the influence of the effective power generated by the turbine generators Company Cartavio SAA in the characteristics of cogeneration, performing a study of the thermal demand, electrical, and thermal power supplied bagasse stock available, with the purpose to validate the hypothesis of this investigation leading to an alternative solution that can cover the entire electricity demand and generating surplus effective power which is injected into the National Interconnected System considering the Electrical Performance Cash provided for in Regulation Cogeneration Peru. It has been determined that the increase in the effective power of 9.5 MW generation can fully cover the demand required by the company and qualify with REE injection of 0.378 to 1 MW of effective power over our cogeneration system.

Keywords: Cogeneration, termal demand, effective power.

Resumo

Foi determinada a influência da potencia efetiva gerada nos turbogeradores da Empresa Cartavio SAA nas características do Cogeração, realizado um estudo da demanda térmica, elétrica, potencia térmica fornecida e do stok de bagaço disponível, com a finalidade de validar a hipótese desta investigação que levam a uma solução alternativa que pode atender a demanda de eletricidade na íntegra e gerar excedente de energia eficaz, que é injetada no sistema elétrico Interligado Nacional tendo em conta a Performance Cash elétrica previsto no Regulamento de Cogeração Peru. Foi determinado que o aumento da energia eficaz a geração de 9,5 MW permite cobrir totalmente a demanda necessária pela empresa e qualificar com REE de 0,378 para a injeção de um MW de energia eficaz sobre o nosso sistema de cogeração.

Palavras-chave: Cogeração, procura térmica, potência efetivo.

¹Escuela de Ingeniería en Energía. Bachiller. Universidad Nacional del Santa. Chimbote. Perú.
fercamz30@gmail.com

Introducción

La cogeneración de energía, principalmente, se ha utilizado en los ingenios azucareros, ya que ellos cuentan con un subproducto del proceso llamado bagazo (biomasa obtenido de la caña de azúcar) que puede ser quemado en una caldera para producir vapor sobrecalentado, ya sea para producir energía eléctrica a través de una turbina de vapor acoplada directamente a un generador eléctrico, y a su vez utilizar el vapor sobrecalentados en los procesos térmicos propios del proceso productivo de las Empresas.

En muchos casos se opta por cogenerar, produciendo el 100% de la demanda eléctrica y generando excedentes de energía eléctrica que pueden ser inyectados a la red eléctrica exterior, comercializándola a través de contratos bilaterales con agentes del mercado o por medio del mercado spot.

En el Perú, se tienen ingenios azucareros que han adaptado su sistema de cogeneración a la cobertura total de su demanda eléctrica y con inyección de sus excedentes a la red eléctrica, tal es el caso, en el año 2009, la empresa agroindustrial paramonga participó en la 1° Subasta de Energías Renovables, incrementando su potencia efectiva desde 8 a 21 MW (abasteciéndose de energía eléctrica en su totalidad 7.5 MW e inyectando a la red 13.5 MW).

Cartavio, S.A.A. es una empresa agroindustrial 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 azúcares (refinada, blanca y rubia), alcoholes, melaza, bagazo, etc. Se ubica a 55 kilómetros al norte de la primaveral ciudad de Trujillo y en el kilómetro 600 de la carretera Panamericana, en la provincia de Ascope, región La Libertad. Esta azucarera, la más antigua del país, forma parte del Grupo Gloria desde el 3 de mayo del 2007. Su superficie es de 7,902.95 hectáreas y sus campos son irrigados por el río Chicama. Tiene más de 6.500 hectáreas bajo cultivo, su molienda diaria sobrepasa las 6.500 toneladas de caña al día y la producción de azúcar es superior a las 700 toneladas diarias. Su ingenio azucarero trabaja con dos lavaderos y un trapiche. Posee también una destilería con capacidad para producir 18 millones de litros de alcohol por año. Destaca por su eficiencia en la extracción, recuperado y elaboración de los jugos debido a la modernización tecnológica de su ingenio, al estricto control de calidad en todos sus procesos y a la preparación de su personal.

La empresa Cartavio S.A.A. cuenta con dos generadores de vapor a los cuales se abastece de bagazo como combustible. El vapor sobrecalentado producido se utiliza en la casa de fuerza en donde se tiene tres turbogeneradores para generación de la energía eléctrica, asimismo en el ingenio azucarero se cuenta con una zona de molinos en el que trabaja con cuatro turbinas de vapor para proporcionar energía mecánica el fluido de trabajo que acciona a estas máquinas. En una segunda fase el vapor de escape es utilizado en el tren de evaporadores de 5 efectos. Dicho ciclo termina con el retorno del condensado que lo conforman el vapor de escape en forma de condensado y el vapor de primer o segundo efecto hacia la zona de calderos. Para sus operaciones industriales: agrícolas, fabriles (molienda de caña para producción de azúcar y alcohol), administrativas y de servicios, necesita una máxima demanda de 8.5 MW (distribuidos en tres subsistemas: trapiche con 2.5 MW, fábrica con 4 MW y pozos con 2 MW), la misma que es proveída por su propio sistema de cogeneración, complementando el resto de la demanda eléctrica con la compra de energía eléctrica a la red del sistema interconectado a través de Hidrandina. Cuando no realiza las operaciones de elaboración de azúcar y molienda de caña (uso de molinos), compra la totalidad la electricidad que necesita, con lo cual no autogenera.

Para la autogeneración de energía eléctrica, Cartavio, cuenta con dos turbogeneradores a vapor operativos de 5 y 2 MW, sumando un total máximo de generación de potencia efectiva eléctrica de 7 MW, con un déficit de 1.5 MW en las mejores condiciones de cogeneración, el déficit de energía es cubierta con la compra de esta a la empresa Hidrandina, mediante un contrato de energía eléctrica de mercado regulado (tarifa MT-3)

Se tiene actualmente condiciones de exceso de bagazo, como subproducto del proceso productivo excedente que no se utiliza en la generación de vapor, la posibilidad de uso está en

función a la capacidad de potencia efectiva que puede incrementarse en la Central de Cogeneración y su efecto directo en el autoabastecimiento de energía en la empresa.

La cogeneración se define como la producción simultánea de calor útil y electricidad a partir de un mismo combustible o fuente de energía primaria. Estos combustibles pueden ser de origen fósil (por ejemplo, gas natural, combustóleo, etc.), renovable (por ejemplo, residuos agrícolas y forestales, biogás, etc.) o incluso hidrógeno.

El principio fundamental de la cogeneración es la recuperación del calor residual producto de la combustión en una planta generadora de electricidad, el cual, de otra forma, hubiera sido liberado en el medio ambiente, desperdiciando con ello una parte importante de la energía todavía disponible. Es la tecnología que mejor explica el concepto de la alta eficiencia en la producción de electricidad. Está basada en utilizar en el propio centro de producción o en usuarios próximos, el calor que inevitablemente se produce al convertir la energía de un combustible en electricidad.

Mientras las grandes centrales térmicas de las empresas persiguen únicamente generación de electricidad y disipan el calor generado al ambiente, las plantas de cogeneración, al aprovechar este calor, obtienen una eficiencia global muy superior. Las plantas de cogeneración se caracterizan por la diversidad de tecnologías empleadas (turbinas de gas, motores alternativos, turbinas de vapor, etc.) y por su diseño específico, en cada caso, al tener que diseñarse en función de la demanda de calor que puede aprovecharse en cada centro.

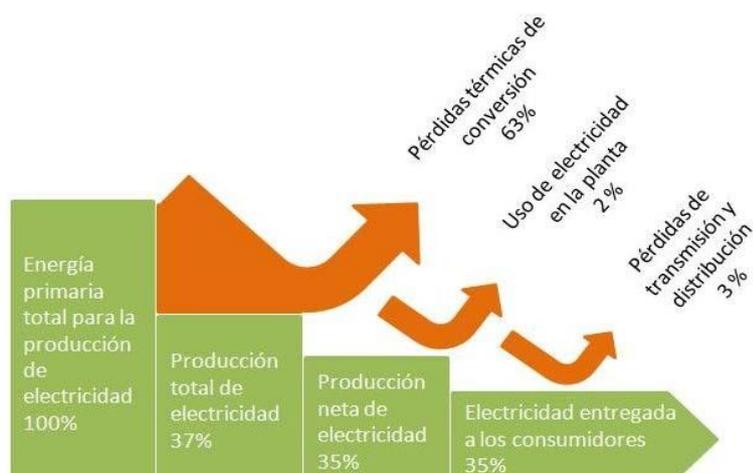


Figura 1. Flujo de Energía de un sistema Eléctrico Convencional.
 Fuente: COGENER (México)

Beneficios de la cogeneración:

- Permite el ahorro de energía primaria, debido a que se utiliza una sola fuente de energía entrante al sistema para la generación de energía térmica y energía eléctrica. Como resultado permite a la empresa sustanciales ahorros económicos, y además surge la posibilidad de que la empresa consumidora de energía se convierta en una empresa generadora de energía al vender sus excedentes de energía eléctrica a la red externa de electricidad.
- Reduce las emisiones de CO₂ asociadas a la quema de combustibles fósiles para la generación de electricidad, así como de otros contaminantes que son dañinos para la salud del ser humano y del medio ambiente.
- Menor consumo de agua comparado con la operación de una planta convencional.
- Aumenta la seguridad energética nacional, especialmente si se utilizan, de forma sustentable, fuentes renovables como los residuos forestales de la biomasa.

- Contribuyen a mejorar la competitividad de una empresa o negocio, como resultado de la reducción de costos en la factura eléctrica y/o por el consumo de combustibles.
- Al tratarse de esquemas de generación distribuida, la cogeneración permite la reducción de pérdidas asociadas a la red de transmisión y distribución.
- Contribuyen a la estabilidad y confiabilidad del sistema eléctrico, brindando control de voltaje, capacidad de reserva durante contingencias y capacidad de arranque en frío.
- La cogeneración, además de ser una solución de producción de electricidad eficiente en sí misma, evita pérdidas al sistema eléctrico, al tratarse de generación distribuida que produce electricidad y calor en las proximidades de su uso, evitando producciones eléctricas por centrales más ineficientes y pérdidas de transmisión a través de las redes de transporte y distribución del sistema.

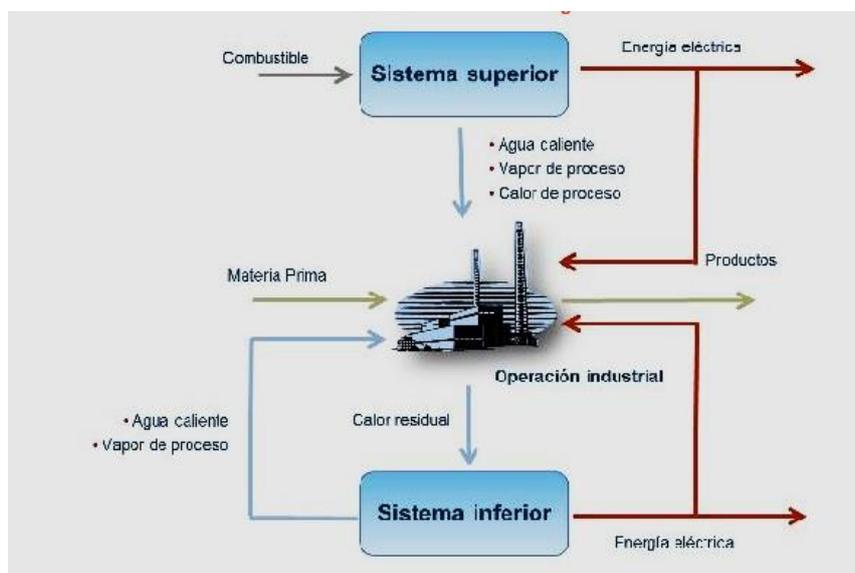


Figura 2. Configuraciones de los Sistemas de Cogeneración.

Fuente: COGENERA (México)

Materiales y métodos

El presente trabajo de investigación es de nivel descriptivo con un enfoque cuantitativo de las variables

Analítico: Es un camino para llegar a un resultado mediante la descomposición de un fenómeno en sus elementos constitutivos. Al referirnos a diversos saberes en los que la aplicación del método analítico es posible, vemos una gradación que va desde las aplicaciones más empíricas y concretas hasta las más abstractas y simbólicas. Las diferentes ciencias y saberes, aplican usualmente ambas maneras del método, aunque privilegien una de las dos. Estas diversas maneras del método analítico, no obstante confluir en el procedimiento general de descomposición de un todo en sus elementos, tienen diferencias específicas, determinadas por el campo de la realidad del que se ocupan y de los objetivos que se buscan (Lopera, 2010).

Sintético: Es un proceso de razonamiento que tiende a reconstruir un todo, a partir de los elementos distinguidos por el análisis, se trata en consecuencia de hacer una explosión metódica y breve, en resumen. En otras palabras decir que la síntesis es un procedimiento mental que tiene como meta la comprensión cabal de la esencia de lo que ya conocemos en todas sus partes y particularidades (Ruiz, 2010).

Deductivo: Es la formulación o enunciación de sistemas de axiomas o conjunto de tesis de partida en una determinada teoría. Mediante el método deductivo de investigación es posible llegar a conclusiones directas, cuando deducimos lo particular sin intermediarios. Esto es un método deductivo directo. Cuando esto no es posible, requerimos el empleo del método deductivo indirecto en el que necesitamos operar con silogismo lógico. Mediante este método, concluimos lo particular de lo general, pero mediante la comparación con una tercera proposición. El método deductivo de investigación permite inferir nuevos conocimientos o leyes aún no conocidas. Este método consiste en inducir una ley y luego deducir nuevas hipótesis como consecuencia de otras más generales (Carbajal, 2013).

Tipo de estudio: Explicativo, como su nombre lo indica, su interés se centró en explicar porqué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se da éste, o porque se relacionan dos o más variables. Su interés se centró en explicar cuál es la influencia del incremento de la potencia efectiva en la planta de cogeneración de la empresa Cartavio S.A.A.

Resultados

Se realizó una evaluación de la situación actual del proceso de producción en la planta, esta información permitió determinar y evaluar los indicadores de la planta en las condiciones actuales del proceso de producción.

Máxima demanda eléctrica: Es el valor máximo de la potencia eléctrica mensual requerida para la Empresa Cartavio S.A.A , la cual toma un valor máximo de 8.5 MW, que es la sumatoria de las máximas demandas instantáneas y coincidentes de las tres áreas de consumo de energía eléctrica de la empresa, distribuidos en:

- Área de trapiche: 2.5 M
- Área de fabrica: 4.0 MW
- Área de pozos, para el suministro de agua a través de bombas sumergibles : 2.0 MW

Máxima demanda térmica: Es el valor máximo del calor útil por unidad de tiempo, requerido por la empresa Cartavio S.A.A para ser utilizado en procesos de calentamiento y accionamiento mecánico de turbinas de vapor en máquinas específicas (molinos, ventiladores y bombas).

Presión de vapor sobrecalentado: Es la presión máxima con la cual se realiza la generación de vapor sobrecalentado a una temperatura de 400 °C. Presión: 42.2 Bar.

Así mismo se pueden identificar en los centros de consumo de calor, las siguientes presiones de servicio: Presión de vapor destilería y evaporadores 1.37 Bar.

Flujo de Bagazo: Es el flujo máximo de bagazo utilizado en la generación de vapor sobrecalentado en los calderos N° 17 y 20.

Con referencia a los centros de consumo de energía térmica se tienen las siguientes características de los Indicadores de las variables (Tabla 1):

Tabla 1. Condiciones de bagazo disponible.

PARÁMETRO	CANTIDAD	UNIDAD
Molienda diaria	6,500	TCD
Horas efectivas de molienda	22	horas
Ratio bagazo/caña de azúcar	0.28	Ton .bagazo/Ton. de caña
Bagazo diario	1,820	Ton./día
Bagazo disponible (95% bagazo diario)	1,729	Ton./día
Bagazo disponible (95% bagazo diario)	78.6	Ton./h
Bagazo real consumido	67.2	Ton./h

Fuente: Departamento de producción empresa Cartavio S.A.A

Es importante recalcar que el 5% del bagazo diario es utilizado para autoconsumo propio de la empresa. El bagazo disponible horario es función de las 22 horas de molienda/día.

Tabla 2. Condiciones de operación de generación de vapor.

PARÁMETRO	CANTIDAD	UNIDAD
Ratio generación	0.49334	Ton vapor/Ton caña
Vapor producido	3205.4	Ton/día
Vapor producido máximo horario	145.7	Ton/hora
Presión de operación	42.2	Bar
Ratio ton vapor/Ton bagazo	2.17	Ton vapor/Ton bagazo

Fuente: Departamento de Energía Empresa Cartavio S.A.A

Teniendo en cuenta el esquema de distribución de energía en la empresa Cartavio S.A.A, se determinaron las condiciones actuales de generación de vapor teniendo en cuenta el valor de una eficiencia máxima para calderas bagaceras de 80%, con los valores de los Tablas 1 y 2 se determinaron los valores de potencia térmica útil de cada uno de los centros de consumo de calor y se cuantifica la cantidad de vapor sobrecalentado utilizado en las turbinas de vapor para la generación actual de 7.0 MW. Se determinó el porcentaje de pérdidas y se estableció la relación actual existente entre la potencia eléctrica efectiva o máxima demanda existente (8.5 MW) y la relación de cogeneración actual (C).

- El caldero C20 trabaja con un factor de carga de 88.83 % y con una eficiencia máxima para un caldero Bagacero de 84.13 % no puede incrementar más su producción debido a un alto factor de carga.
- El caldero C17 trabaja con un Factor de Carga de 79.4 % y con una eficiencia máxima para un caldero bagacero de 84.22 %, puede incrementar más su producción, hasta con un factor de carga de 88.0 %, en función a la disponibilidad de bagazo.
- Existe aún excedente de bagazo, el cual puede ser utilizado para la generación de vapor sobrecalentado e incrementar la potencia efectiva eléctrica a generar.

- La demanda térmica total es satisfecha, con una potencia térmica útil de 101.34 dividido en dos zonas de presión (Alta presión a 42.2 Bar y Baja Presión a 1.38 Bar).
- Existe una pérdida de energía al realizar una doble estrangulación de 18.9 ton/h de vapor desde 42.2 a 12.4 y 1.38 Bar respectivamente antes de utilizar el vapor en los centros de consumo de energía térmica.
- La satisfacción de la demanda eléctrica es solo del 82.35%, solo con dos turbogeneradores operativos con los cuales se genera 7 MW, operando los motores a plena carga, con lo cual es recomendable reemplazar el tercer turbogenerador Oerlikon, actualmente fuera de servicio.

Se realizó la propuesta de mejora de la situación actual de funcionamiento para incrementar la potencia efectiva en cogeneración de energía en la empresa (Tabla 3).

Tabla 3. Alternativas de solución para cogenerar en función a la potencia efectiva a producir.

Incrementar el factor de carga del caldero C17 hasta un valor de 88 % en función a la capacidad del bagazo excedente disponible		
Conservar la estación reductora de presión	Eliminar la estación reductora de presión	
Alternativa A1	Alternativa A2	Alternativa A3
Derivar el vapor producido directamente a un nuevo turbogenerador	Derivar el vapor producido directamente a un nuevo turbogenerador	Derivar el vapor producido directamente a un nuevo turbogenerador + Adquisición de un caldero adicional
No reemplazar las turbinas de vapor por motores térmicos		
Determinar potencia efectiva necesaria	Determinar potencia efectiva necesaria	Determinar potencia efectiva necesaria

Fuente: Elaboración propia.

Discusión

Se realizó una evaluación de la situación actual donde se observa que existen puntos en el proceso donde se puede obtener energía, que normalmente se desaprovechaba. La teoría de cogeneración indica que aprovechar al máximo los niveles de energía en un proceso en la planta traerá consigo un aumento de los niveles de potencia térmica o eléctrica, lo que finalmente se traduce en ahorro o maximización de costos de producción.

Se tiene la siguiente proporción porcentual de distribución de la potencia térmica útil de planta, el cual se presenta en la Figura 3, en el cual el mayor porcentaje 82.4 % de la potencia térmica útil de planta es consumida por el evaporador de 1 efecto que se encuentra en el Área de Evaporación con un valor de 83.53 MW y 121ton/h de vapor saturado a una presión de 1.38 Bar.

Los otros porcentajes de la potencia útil de la planta se reparte entre el turbo vapor requeridos por las máquinas y el Área de Destilería, en 7.8 y 9.8%, respectivamente.

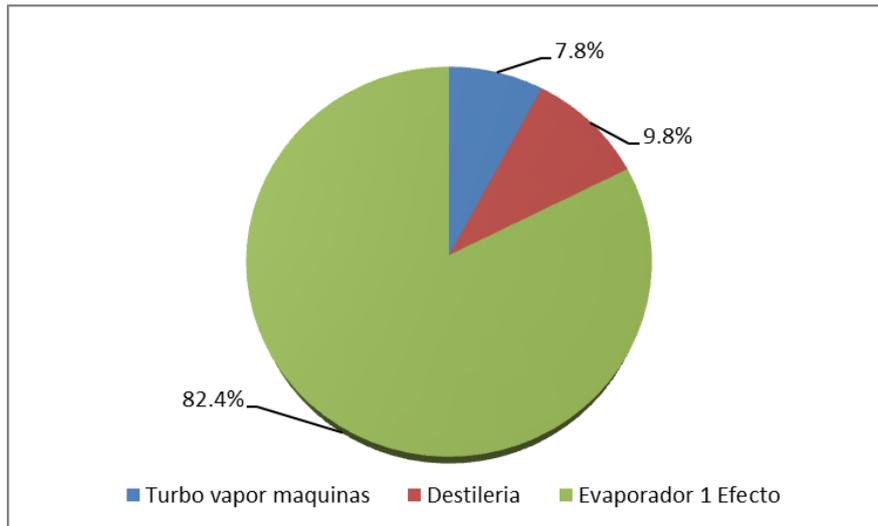


Figura 3. Distribución porcentual de la potencia térmica útil.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4, se presenta la distribución porcentual de la potencia efectiva generada en la planta, notándose que existe un déficit efectivo es decir falta energía, en un 17.6% de potencia la cual es cubierta mediante el suministro por la empresa Hidrandina en un total de 1.5 MW, mientras que entre las dos turbinas restantes se producen 7 MW, con porcentaje de generación de 58.8 % y 23.5 % respectivamente para las turbinas NG y GE.

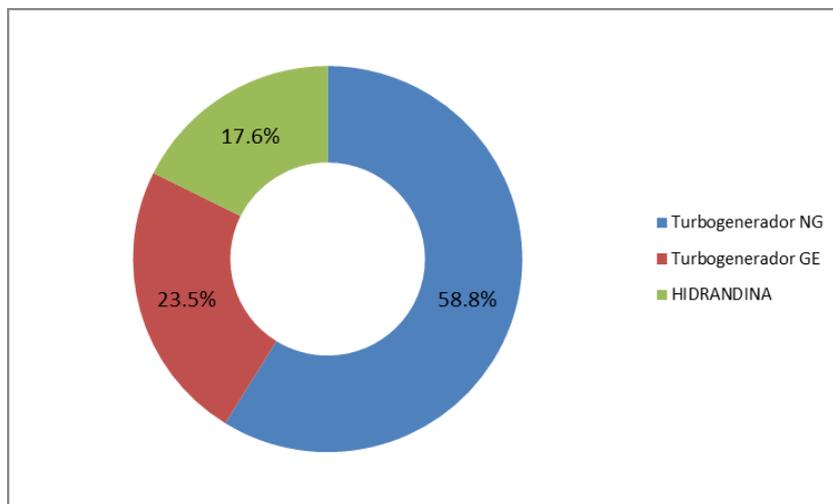


Figura 4. Distribución porcentual de la potencia efectiva actual generada.

Fuente: Elaboración propia.

Con referencia al bagazo disponible en planta, se muestra en la Figura 5, se tiene la siguiente distribución: 48.9 ton/h de bagazo que representan el 62.2% del combustible disponible se utiliza para generar 106 ton/h de vapor sobrecalentado en el caldero C20, mientras que en el caldero C17 se utiliza 18.3 ton/h de bagazo lo que representa el 22.8% del combustible disponible para poder generar 39.7 ton/h de vapor sobrecalentado. Mientras que se tiene aún en stock 11.4 ton/h de bagazo sin utilizar.

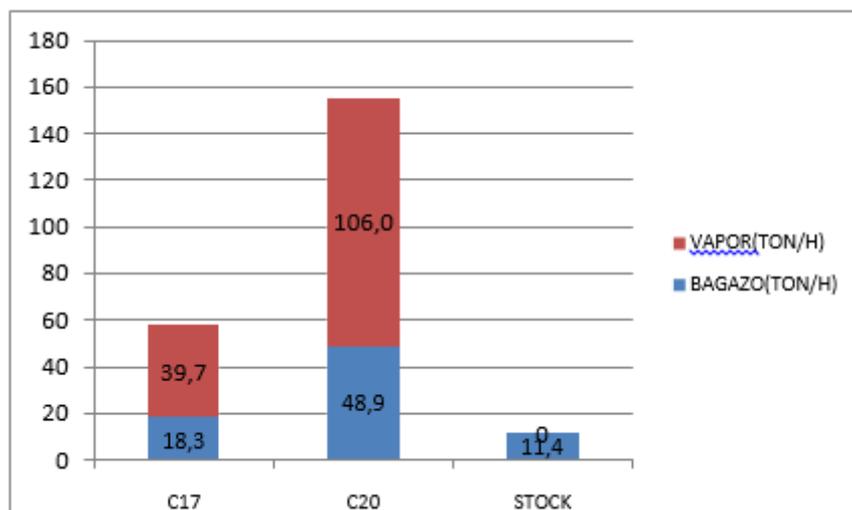


Figura 5. Distribución del consumo de bagazo y generación de vapor sobrecalentado.
Fuente: Elaboración propia.

Con referencia a la potencia térmica suministrada inicialmente en la calderas de vapor acuotubulares se tiene la siguiente distribución porcentual, en la cual el caldero C20 consume 72.8 % de las Potencia térmica suministrada con un valor de 97.43 MW, mientras que el C17 cubre tan solo el 27.2% con una potencia térmica suministrada de 36.46 MW.

Conclusión

La máxima demanda térmica en la empresa Cartavio S.A.A es de 101.34 MW, de los cuales el mayor consumidor es la planta de elaboración con una potencia térmica útil de 83.53 MW (lo que representa el 82.4% del total demandado). Mientras que la máxima demanda eléctrica es de 8.5 MW, del cual tan solo es autogenerada una potencia efectiva de 7.0 MW por dos turbogeneradores, mientras que el déficit de demanda es coberturada mediante la compra de potencia a Hidrandina, un máximo de 1.5 MW. Siendo la condición de la cogeneración del tipo parcial en el orden de 82.35 %.

Las condiciones de generación de vapor sobrecalentado se realizan a la presión de 42.2 Bar y 390 °C en dos calderos acuotubulares con una potencia térmica suministrada de 133.89 MW térmicos a través del consumo de 67.2 ton/h de bagazo generándose 145.7 ton/h de vapor sobrecalentado. Quedando en stock 11.4 ton/h de bagazo en condición de disponibilidad.

Se determinó la alternativa de solución para la cogeneración aplicada a la empresa Cartavio S.A.A, la cual consiste en incrementar la potencia efectiva en 9.5 MW, cubriéndose en su totalidad la demanda eléctrica (8.5 MW), con un excedente de 1MW, el cual puede ser inyectado a la red del sistema interconectado nacional, debido al cumplimiento del reglamento de cogeneración del Perú con un rendimiento eléctrico efectivo de 0.378, valor que le permite calificar.

El arreglo del sistema de cogeneración aplicado a la empresa Cartavio S.A.A permite tener aún un stock de bagazo disponible de 9.5 ton/h, la compra de un nuevo turbogenerador que permita la cobertura de 2.5 MW de potencia efectiva.

Referencias Bibliográficas

- Bermúdez T., V. (2000). *Tecnología energética*. Universidad Politécnica de Valencia. 250 pp.
- Burghardt, M. D. (1990). *Ingeniería termodinámica*. (2ª ed.). México: Editorial HARLA.
- Cano N., R. (2014). *Informe de prácticas: Análisis de la generación de energía del complejo agroindustrial Cartavio S.A.A*. Biblioteca EAPIE.100 p.
- Díaz G., A. (1995). Esquemas de cogeneración. *Comisión Nacional de Ahorro de Energía de México*. 105 pp.
- Díaz G., A. (1995). Diseño de sistemas de cogeneración. *Comisión Nacional de Ahorro de Energía de México*. 125 pp.
- Empresa Azucarera Ciro Redondo. (2011). Generación de energía a partir de subproductos de la agroindustria en la empresa azucarera Ciro Redondo. Cuba 2011 [Consulta: 15 de abril del 2015]. Disponible en: <http://cuba.acp-cd4cdm.org/media/280209/7.%20minaz-cogeneracion%20ciro%20redondo.pdf>.
- Gonzales Ch., S. (2009). *Sistemas de cogeneración*. Perú: Ediciones UNI.
- Guevara Ch., R. (2012). *Cogeneración en el Perú*. Perú. [Consulta: 05 de abril del 2015]. Disponible en: biblioteca.uns.edu.pe/saladocentes/archivoz/.../ii_unidad
- Ministerio de Energía y Minas. *D.S N° 037-2006-EM Reglamento de cogeneración del Perú y sus modificatorias*. MEM. 2006.15 pp.
- Moran y Shapiro. (2006). *Termodinámica técnica* Tomo II. México : Ed Reverte.
- Taylor, G. A. (1996). *Ingeniería económica*. México : Editorial LIMUSA.
- Villares M., M. (2003) *Cogeneración* . España : Ed. Confemetal de España.