

Improvements in energy efficiency in a thermoelectric generation plant

Esp. Ing. Gonzalo Castelló¹; Dra. Ing. Nancy Carrizo²

^{1,2}Universidad Tecnológica Nacional; Facultad Regional Delta, Argentina, gcastello@frd.utn.edu.ar, carrizon@frd.utn.edu.ar

Abstract – The use of electronic variable speed drives is increasingly used for energy savings. The case study of the use of variable speed drives for 200 KW motors used to move the blades of an air force for a cooling tower is presented. The research is descriptive through an empirical case study based on a thermodynamic analysis of the possibilities of energy savings by varying the rotation speed and, therefore, the air flow in a cooling tower belonging to a combined cycle for the generation of electrical energy in a plant located in the north of the province of Buenos Aires, Argentina. The study aims to demonstrate the technical and economic feasibility of the implementation, as well as the usual problems to be solved from a technical point of view.

Keywords—Energy efficiency, variable speed drives, cooling tower, combined cycle, ISO 50001 standards.

Mejoras en la eficiencia energética en una central de generación termoeléctrica

Esp. Ing. Gonzalo Castelló¹; Dra. Ing. Nancy Carrizo²

^{1,2}Universidad Tecnológica Nacional; Facultad Regional Delta, Argentina, gcastello@frd.utn.edu.ar, carrizon@frd.utn.edu.ar

Resumen— El uso de variadores de velocidad electrónicos se utiliza cada vez con mayor frecuencia para el ahorro energético. Se presenta el caso de estudio de la utilización de variadores de velocidad para motores de 200 KW utilizados para mover las aspas de forzadores de aire para una torre de enfriamiento. La investigación es descriptiva a través de un caso de estudio empírico sobre las bases de un análisis termodinámico de las posibilidades de ahorro energético variando la velocidad de giro y, por ende, el flujo de aire en una torre de enfriamiento perteneciente a un ciclo combinado para la generación de energía eléctrica en una planta ubicada en el norte de la provincia de Buenos Aires, Argentina. El estudio pretende demostrar la factibilidad técnica y económica de la implementación, así como los problemas usuales a resolver desde el punto de vista técnico.

Palabras claves— Eficiencia energética, variadores de velocidad, torre de enfriamiento, ciclo combinado, normas ISO 50001.

I. INTRODUCCIÓN

El camino hacia la transición energética incluye tanto la reducción del consumo como el giro hacia alternativas de generación más amigables con el medio ambiente Ref. [1]. En este camino las centrales de generación de energía eléctrica convencionales, como es el caso de los ciclos combinados, pasan de ser una central de generación eléctrica de base a una cíclica, con mayores variaciones de carga y hasta paradas y arranques para suplir la oscilación tanto del consumo como la generación proveniente de las energías renovables Ref. [2]. En cuanto a los subsistemas que hacen al funcionamiento del ciclo combinado éstos están normalmente diseñados para operar al 100 % de su capacidad independientemente del estado de carga de la turbina de vapor. Así es como una central de generación de energía eléctrica por ciclo combinado (turbinas de gas bajo ciclo Brayton y turbina de vapor bajo ciclo Rankine) mediterránea (alejada de ríos o mares para el enfriamiento) consumen un 0,5 % de energía en los ventiladores de la torre de enfriamiento. Este 0,5 % corresponde a lo que se denomina Carga Base (>95 % de carga en las turbinas de gas y de vapor) pero aumenta al 0,83 % cuando la central opera al mínimo de carga técnico-operacional. Es uno de los objetivos del caso de estudio determinar cómo introducir mejoras para que los consumos auxiliares acompañen la menor demanda y de esta manera ahorrar energía. Para ello se propone instalar variadores de velocidad en los motores que mueven las aspas de los

ventiladores de la torre de enfriamiento. Al variar la velocidad disminuye el consumo de potencia/ energía de cada motor proporcionalmente al cubo del cambio de velocidad del motor.

Las ecuaciones utilizadas en bombas, ventiladores y compresores centrífugos son las siguientes:

$$\begin{aligned} 1. \quad \frac{D_1}{D_2} &= \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2} \\ 2. \quad \frac{D_1}{D_2} &= \frac{Q_1}{Q_2} = \sqrt{\frac{H_1}{H_2}} \\ 3. \quad \frac{D_1}{D_2} &= \frac{Q_1}{Q_2} = \sqrt[3]{\frac{Pot_1}{Pot_2}} \end{aligned}$$

Estas ecuaciones pueden ser traspuestas en varias formas diferentes:

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{Q_1}{Q_2}\right)^2; \quad \frac{Pot_1}{Pot_2} = \left(\frac{Q_1}{Q_2}\right)^3$$

Nota: Ecuaciones utilizadas en bombas, ventiladores y compresores centrífugos. Ref. [3]

Tres de las cuatro variables deben ser conocidas para determinar la cuarta.

Q: Flujo

N: Velocidad de la bomba, ventilador, compresor

Pot: Potencia al freno, requerida por el equipo

D: Diámetro del impulsor

Así es que cuando la turbina de vapor no toma carga (en condición de arranque) ambas caleras de recuperación de calor instaladas en el escape de cada turbina de gas colectan el 86 % de la energía de los gases de escape y generan vapor de agua en 3 presiones Ref. [7]. La torre de enfriamiento está calculada para tolerar toda la carga térmica de ambas calderas de recuperación de calor (HRSG por sus siglas en Inglés) de las turbinas de gas con una carga de 200 Mw por máquina. Así es que reciben unos 711 MWh de energía que se traslada al condensador sin pasar por la turbina de vapor. Cuando la turbina de vapor toma carga nominal, entrega 270 Mw de potencia eléctrica y necesita de un enfriamiento de 500 Mw de potencia o 500 Mwh de energía que se disipan por el condensador en el escape de la turbina de baja presión.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

DO NOT REMOVE

Esto es por el rendimiento del ciclo Rankine de la turbina de vapor de 3 etapas de presión (alta presión, 110 bar; media presión, 40 bar y baja presión, 5 bar) que, a carga máxima, alcanza el 35 % de rendimiento térmico.

Para este enfriamiento en una central mediterránea, como la que estamos estudiando, se utiliza una torre de enfriamiento que recircula unos 38.000 m³/h entre condensador y torre, logrando un salto térmico del agua del enfriamiento de alrededor de 10 °C. Esta torre de 260 mts de largo, 16 mts de ancho consta de 17 módulos con aspas de ventilador individuales. La torre de estudio es, además, del tipo híbrida, seca y húmeda para lograr abatimiento de pluma de vapor. Si bien es mejor, por el ciclo térmico Rankine de la turbina de vapor, que la torre de enfriamiento opere a la mínima temperatura disponible de la batea, esta depende de factores como temperatura ambiente, humedad relativa ambiente, etc.

Cuando la carga de la turbina de vapor va al mínimo técnico (2 (dos) turbinas de gas operando a 130 Mw de potencia y la turbina de vapor a 180 Mw) la energía que se requiere disipar baja a 365 Mwh. Otra opción es que el ciclo opere con una sola turbina de gas en cuyo caso el mínimo técnico-operacional es de 160 Mw de potencia haciendo que la turbina de vapor alcance 85 Mw y en cuyo caso la energía disipada en el condensador es de 200 Mwh. En la tabla 1 se presenta un resumen de las cargas térmicas en la torre de enfriamiento de acuerdo con las condiciones operativas de las turbinas de gas y cómo varía la carga en la turbina de vapor y la energía disipada en el conjunto condensador/ torre de enfriamiento.

TABLA 1
ENERGÍA DISIPADA POR LA TORRE DE ENFRIAMIENTO
SEGÚN CONDICION OPERATIVA

Condición Operativa	Carga en Turbina de Vapor	Energía disipada en conjunto condensador/ torre de enfriamiento
2 TGs 200 Mw, TV en arranque	0 Mw	711 Mwh
2 TGs 280 Mw	270 Mw	500 Mwh
2 TGs 130 Mw	180 Mw	365 Mwh
1 TG a 160 Mw	85 Mw	200 Mwh

Aun existiendo diferentes opciones de funcionamiento del ciclo combinado, la torre de enfriamiento sigue operando con los 17 ventiladores y si bien es una opción válida apagar algunos ventiladores (supongamos 8 o 9 en configuración de 1 turbina de gas con la turbina de vapor) la torre pierde eficiencia por que el agua recircula por igual en aquellas celdas o módulos que tienen en ventilador parado, el agua no se evapora por completo (debido a la falta de corriente de aire en la fase húmeda) generando que la temperatura de la batea sea más alta de lo que debería según las condiciones ambientales y de energía térmica a disipar. A temperaturas mas altas, mas alta es la temperatura del condensado y el salto entalpico del ciclo Rankine es menor.

De la misma forma si alguno de los ventiladores está parado, frente al del costado que está en marcha, se produce un flujo inverso de aire que en vez de pasar por la zona híbrida de la celda que está en servicio, toma por el pasillo central (hacia ambos lados de la torre de enfriamiento) y succiona aire atmosférico por el ventilador que está parado. Incluso las aspas del ventilador, caja reductora, cardan giran al revés a razón de 5 rpm y el motor gira en sentido inverso a 70 rpm. Cuando viene la señal de arranque, el motor recibe la tensión y arranca en sentido correcto generando mucho estrés tanto sobre el cardan (de fibra de carbono) y la caja de engranajes.

Las condiciones óptimas de enfriamiento en la torre se obtienen del gráfico 1 presentado por Esindus (fabricante):

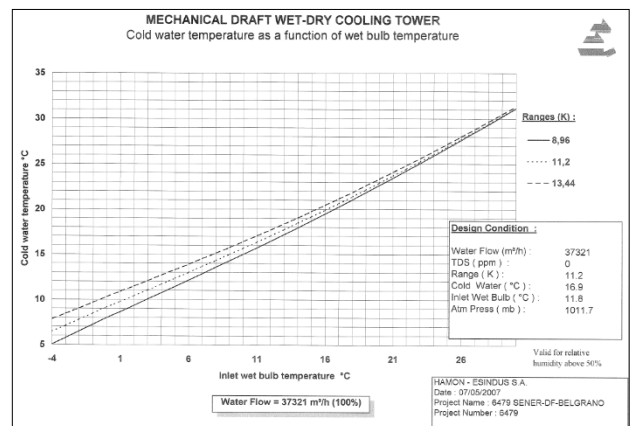


Gráfico 1: condiciones óptimas de la torre de enfriamiento. Ref. [5]

Como se ha mencionado, la capacidad de enfriamiento de la torre híbrida está sobrada en cuanto a condiciones operativas del ciclo combinado en condiciones de carga de turbina de vapor inferiores a su carga nominal.

En la foto 1 se puede observar los motores de 200 Kw que mueven las aspas de los ventiladores que están en las toberas de descarga de aire. Esto es en el techo de la torre de enfriamiento.

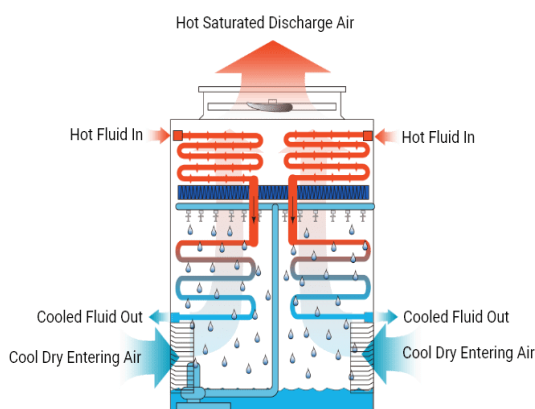


Fig.1. Esquema de funcionamiento de una torre de enfriamiento de tiro inducido híbrida (abatimiento de pluma) Ref..[4].



Foto 1 Motores de 200 Kw que mueven las aspas de los ventiladores. Ref [6].

En la foto 2 se observa una vista completa de la torre de enfriamiento donde se observa la parte húmeda, la parte seca (los intercambiadores agua/ aire, ubicados en forma longitudinal a la torre: parte híbrida) y las toberas de salida del aire húmedo.



Foto 2: Vista completa de la torre de enfriamiento 260 mts largo, 17 mts de ancho con 17 módulos. Ref. [6]



Foto 3: pasillo que comunica los módulos de la torre de enfriamiento entre la parte seca (derecha) y la parte húmeda (izquierda). Ref. [6].

Los motores de los ventiladores de cada celda (17 en total) son de 200 Kw – 400 volts y tiene arranque directo comandados por el control SCADA de la propia central. El automatismo de estos se basa en un control según temperatura ambiente que va parando de ventiladores de celdas conforme la temperatura ambiente baja de los 8 °C (pleno invierno, solo entre las 00:00 hs y las 10:00 hs algunos días al año, para la zona del emplazamiento).

La conexión entre el motor eléctrico (posición horizontal) hasta las aspas de los ventiladores (posición vertical) se realiza por un conjunto de cardan de fibra de carbono y un reductor mecánico con cambio direccional de movimiento que traslada los 1487 rpm de giro asincrónico del motor a 106,3 rpm en las aspas de los ventiladores.

El flujo de aire por módulo asciende a 810 m³/seg y el caudal de agua por módulo alcanza los 2235 m³/h. Como la torre de enfriamiento ya está diseñada para los 711 Mw (cuadro 1) en el resto de las condiciones de carga del conjunto turbinas de gas y turbina de vapor, la unidad de enfriamiento tiene un exceso de flujo de aire.

II. DESARROLLO

A- Posibilidades de ahorro energético

Los 17 motores de todos los módulos de la torre de enfriamiento en su conjunto consumen 3,3 MWh de energía. Esto es girando a la velocidad nominal de 1487 rpm dado por los 50 Hz de frecuencia en las barras de servicios auxiliares de la central Ref. [8].

De acuerdo con los datos presentado en la tabla 1, con la instalación de variadores de velocidad por cada motor de cada celda se puede calcular el potencial ahorro según cada condición de carga. Esto se calcula según las fórmulas presentadas y se sabe, por datos del fabricante, que el flujo de aire es proporcional a la velocidad de giro de las aspas, es decir, no hay cambios significativos en la eficiencia aerodinámica de cada ventilador trabajando a menor velocidad.

Como en cargas de 0 Mw (turbinas de gas generando, pero sin estar acoplada la turbina de vapor) se evaporan unos 670 m³/hora de agua mientras que a cargas de turbina de vapor de 270 Mw se evaporan alrededor de 550 m³/h de agua Ref. [9] la diferencia entre caudales esperados de aire, necesarios para evaporar el agua tienen una merma calculada del 10 % entre una y otra condición. Todo el flujo de aire es para la parte húmeda y para no perder el funcionamiento de la parte híbrida de la torre que disipa la pluma de vapor característica y por ende no sacrificar la parte visual operativa de la torre de enfriamiento Ref. [10]. En el cuadro 2 se presenta un resumen de las condiciones de carga, velocidad esperable del conjunto motor, reductor mecánico y cambio direccional y ahorro de energía potencial.

TABLA 2
 DIFERENTES CONDICIONES DE CARGA, VELOCIDAD
 ESPERADA DE GIRO Y POTENCIAL AHORRO D ENERGIA POR
 ESTE CAMBIO OPERATIVO

Condición carga turbina de vapor Mw	Velocidad de giro esperada rpm	Energía disipada en condensador-Torre Mwh	Ahorro de energía Mwh
En arranque	2487	711	0
270	2238	500	0,9
180	1633	365	1,5
85	1250*	200	2,5

*La velocidad no puede ir más baja del 50 % de la nominal porque los motores tienen enfriamiento propio (es un propio ventilador acoplado al eje del motor), por debajo de esta velocidad podría generar sobrecalentamientos del cuerpo del motor. Ref. [11].

Acorde al perfil de carga de la central comandada por Centro de despacho del SADI (Sistema Argentino de Interconexión) en lo que fue el año 2023, se obtiene el cuadro 3 Ref. [12].

En la tabla 3 se puede observar el abanico de posibilidades de operación de la central térmica con un perfil de ciclado de carga, la cantidad de horas en cada estadio de carga de la turbina de vapor y el potencial impacto en el ahorro anual de energía.

TABLA 3
 PERFIL DE OPERACIÓN EN HORAS, CALCULO DE POSIBLE AHORRO ENERGETICO Y EL TOTAL ANUAL OBTENIBLE.

Estadio de carga Turbina de Vapor	Horas/año	Posible ahorro por hora Mwh	Ahorro anual Mwh
Carga Base 2 x 1	4842	0,9	4358
Mínimo 2 x 1	2091	1,5	3137
Carga Base 1 x 1	165	1,83	302
Mínimo 1 x 1	91	2,5	228
Total ahorro potencial anual (2023)			8025

Notas: 2 x 1 implica 2 turbinas de gas y la turbina de vapor operando y 1 x 1 es una turbina de gas operando con la turbina de vapor.

Es de mencionar que el ahorro interno de energía, por parte de la central de estudio, redundará en una mayor entrega de energía a la red y por ende, la posibilidad de evitar emitir gases de efecto invernadero por la quema de combustibles fósiles para generar esa energía. Para una central térmica de ciclo combinado esto implica una merma de 3900 Ton CO₂/año. Ref. [17].

B- Mejora tecnológica por implementar: instalación de variadores de velocidad por cada celda/ motor

Las tecnologías modernas han logrado reducir las velocidades de motores eléctricos de corriente alterna lo que antes era solo posible para motores de corriente continua.

De acuerdo con Abraham Rodríguez Ref. [13], un variador para motores de corriente alterna es un dispositivo integrado que consta de 3 etapas para su funcionamiento;

Etapa 1. Rectificación: Si se piensa que la energía se traslada en ondas senoidales, entonces, podemos decir que el rectificador modifica esa onda y crea un rizo eléctrico. Lo que hace el rectificador es que corta esa onda senoidal de tal forma que sube la parte baja (valle) y la refleja en la parte alta (cresta) distorsionando por completo la onda senoidal original.

Etapa 2. Filtrado: Este proceso toma el rizo resultante de la etapa de rectificación y lo pasa por un banco de capacitores, éstos funcionan como una pila convencional, en este punto, la corriente alterna es convertida en corriente directa.

Etapa 3. Inversión: El inversor es el circuito encargado de generar el voltaje de frecuencia variable para alimentar al motor de inducción; está formado por seis transistores de potencia. En baja tensión, comúnmente son usados los IGBT (isolated gate bipolar transistor). A este conjunto de transistores se le conoce como puente inversor; lo que hace es generar pulsos eléctricos, los cuales son capaces de modificar la frecuencia y el voltaje, modificando la velocidad del motor de inducción. El método más conocido para lograr esta etapa es el PWM (pulse-width modulation).

En la Figura 2 se pueden observar las diferentes etapas descritas según la fuente Ref. [13].

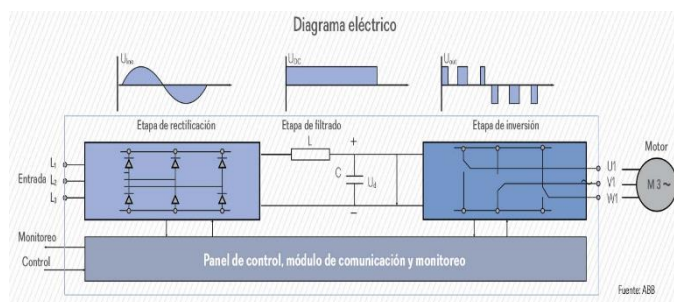


Figura 2: Etapas de funcionamiento de un variador para motores de corriente alterna

C- Montaje de variadores en proceso

Dado que el edificio que contiene los interruptores y transformadores de tensión de 6,6 Kv a 400 Volts para alimentar estos motores están a distancias de cableado eléctrico desde 160 a 450 metros y los cables no fueron especificados para operar con tensiones corregidas (por un variador de velocidad), no tienen mallado. Por ello la opción de colocar los variadores de velocidad en el recinto de los transformadores e interruptores no se analiza por la complejidad, y costo asociado, ya que implicaría cambiar todo el cableado y prever un sistema de enfriamiento extra

para este edificio (por el calor generado por los variadores de velocidad).

Por lo expresado anteriormente, la opción viable es dejar los cables originales que hoy van desde el interruptor hasta la llegada al motor, el recorrido más largo, como alimentación a los variadores de velocidad, colocar estos cercano a los motores, en un gabinete estanco con capacidad de hermetismo tipo IP65 o IP 67, como el de la Foto 6 y desde el variador de velocidad al motor (que es un tramo de no más de 5 metros) si podrá instalarse el cableado del tipo mallado. Además, se corrige la cuestión de enfriamiento de una sala eléctrica dado que quedaría el conjunto a la intemperie.

D- Otras mejoras asociadas

En los sistemas mecánicos, la fuerza introducida por el motor eléctrico hacia el conjunto mecánico genera torciones por la inercia principalmente en los arranques. Los variadores de velocidad electrónicos tienen la posibilidad, desde la configuración, generar entregas mínimas de corrientes en el bobinado del motor para generar el freno del conjunto (para los casos que este girando en sentido contrario) y luego generar una rampa de aceleración determinada para dar lugar en que cada arranque, el sistema mecánico no sufra de stress.



Foto 4: conjunto mecánico de cardan de fibra de carbono, diferencial con reductor mecánico de velocidad para el cambio de sentido de giro de las aspas de un ventilador de la torre de enfriamiento. Ref. [6]



Foto 5: variador de velocidad a instalar entre cable de alimentación y motor en parte superior de la torre de enfriamiento. Ref. [14]



Foto 6: gabinete tipo IP65 para instalación del variador de velocidad en su interior. Fuente [14]

La lógica de control será formulada dada la carga de la turbina de vapor o las calderas con todos los datos disponibles en el sistema de control. Hay que tener en cuenta otro punto de relevancia al momento de la inversión que atiende las corrientes no deseadas en el rotor que suelen generar problemas de corrosión en las pistas de los rodamientos.

“... En un motor de inducción alimentado por una red trifásica sinusoidal se obtienen tensiones equilibradas y simétricas, por lo tanto, el resultado de la suma fasorial de cada una de sus fases es cero. La tensión en las terminales de entrada de un motor alimentado por un variador de velocidad son PWM (Pulse Width Modulation), y la suma fasorial de cada una de las fases con respecto a tierra es diferente de cero. Esto genera la aparición de tensiones y corrientes de modo común en el conjunto motor de inducción y variador de velocidad.

Las tensiones de corrientes de modo tienen frecuencias proporcionales a la capacidad de conmutación del variador de velocidad, es decir que su frecuencia es del orden de los kHz. Por otro lado, el motor de inducción tiene unas capacitancias parásitas asociadas entre estator, rotor, carcasa y rodamiento. La interacción entre la tensión de modo común y las capacitancias parásitas dan lugar a las corrientes de rodamientos. Este tipo de corrientes generan problemas para el rodamiento, lo cual ocasiona deterioro del lubricante y de las carreras internas y externas del rodamiento; este daño puede presentarse en forma de picaduras y de estrías...” Ref.[15]

Por lo mencionado, es necesario prever el cambio de rodamientos (incorporar rodamientos aislados) en los 17 motores que se conectarían con los variadores de velocidad.

Es importante destacar que conectando los variadores de velocidad en los motores de la torre de enfriamiento queda un paso realizado para, en un futuro, instalar paneles solares para la generación de energía. Estos motores se podrían abastecer enteramente con un parque solar en las horas diurnas. Cabe destacar que la central cuenta con un predio de 200 hectáreas libres de uso. Este estudio podrá formar parte de otra investigación a llevarse a cabo en el mediano plazo.

E- Inversión proyectada

Ya se han cotizado estos equipos (2023) y la inversión por ítem se detalla en la tabla 4 a continuación:

TABLA 4
INVERSION PROYECTADA PARA LA INSTALACION DE LOS
VARIADORES DE VELOCIDAD

Ítem de la inversión	Monto en U\$S
Compra de variadores con gabinetes estancos IP 65	620.000
Montaje y puesta en marcha	250.000
Recambio de rodamientos	130.000
Total Inversión U\$S	1.000.000

Fuente: elaboración propia en base a cotizaciones de proveedores (3).

F- Recupero de la inversión

Hoy la mayor parte de las centrales en el Sistema Argentino de Interconexión (SADI) operan bajo contratos con CAMMESA (Compañía Administradora del Mercado Mayorista eléctrico Sociedad Anónima) que tiene 51 % de acciones del estado nacional argentino. Esta compañía tiene en la actualidad el monopolio de la compra y distribución de combustibles a las centrales térmicas. En el caso de la central de estudio opera 90 % del tiempo con Gas Natural y el resto con Gas Oil. Ref. [16]. La retribución de las generadoras para cubrir todo el resto de los costos que no sean el combustible (mantenimiento, personal, insumos químicos, servicios de terceros, etc) es por la potencia disponible y el margen por la energía entregada. Operando con Gas Natural el valor actual es de 3,5 U\$S/Mwh.

No obstante, la idea del nuevo gobierno (2023-2027) es ir llevando el sistema bajo la ley N° 24065 (1991) donde exista la competencia entre productores de energía haciéndose estos cargos de la compra de su propio combustible. A precios actuales la inversión no se recupera durante el periodo remanente de vida útil de la central. Pero en la medida que se tienda a la ley 24065 los costos del sistema de generación media irán a un valor de U\$S 40/Mwh considerando que exista suficiente oferta de Gas natural del desarrollo del yacimiento Vaca Muerta y no existan restricciones en el transporte de gas natural. Ahí el precio tendería a los mencionados 40 U\$S/Mwh. Con estos valores la recuperación anual ascendería a U\$S 321.000/ año por lo cual el recupero de la inversión con una tasa de retorno de 15 % anual en U\$S sería de alrededor de los 5 años.

III. CONCLUSIONES

La eficiencia energética es algo en que las empresas están en continua búsqueda, si bien la certificación ISO 50001 ordena los pasos para la eficiencia ya está instaurado esta lógica como otro estándar más de la industria moderna junto a la seguridad, medio ambiente y responsabilidad social empresaria.

El caso de estudio demuestra la capacidad de ahorrar unos 8025 Mwh al año con la instalación de variadores de velocidad en los motores de ventilación de una torre de enfriamiento. Es de notar que el ahorro energético conlleva evitar de emitir unas 3900 Ton/año de CO₂ y dejar abierto el camino para cogenerar con paneles solares. De esta manera se vincularía la generación de energía tradicional con las nuevas fuentes libres de CO₂.

La tecnología y la viabilidad técnica de la instalación están presentes, claro que resta la decisión de realizar la inversión que, a la remuneración actual, no se repagaría, aunque el “sistema” (lo que le cuesta a la Argentina los 8025 Mwh) se tendría un periodo de repago de 5 años a una tasa del 15 % anual. No obstante, desde el punto de vista de huella de carbono y mantenimiento de la certificación ISO 50001, el proyecto es totalmente viable.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a las autoridades de la Central del caso de estudio que nos brindaron los datos para estudiar la factibilidad de este proyecto. A la Universidad Tecnológica Nacional, especialmente de toda la Facultad Regional Delta por darnos el apoyo para presentar este artículo que formará parte de un PID (proyecto de investigación y desarrollo).

REFERENCIAS

- [1] Christine Lins y Hannah E. Murdock (2015). Renewables 2015 Global Status Report. ONU.
- [2] Armando Besada (2022). Fórum de generadores. Argentina de perspectivas de mercado energía eléctrica para ArgenDirksen, U. (2019). *Trabajo del futuro y futuro del trabajo: Por una transición progresista*. Nueva Sociedad, (279), 62-72.
- [3] Curso – Taller. Promotores de ahorro y eficiencia de energía eléctrica. Modulo IV. Guatemala 2010.
- [4] Figura obtenida de Feiyu Cooling LTD Co. China 2023. <https://www.flycoolingtower.com>.
- [5] Hamon - Esindus S.A.U Madrid España. 2007 Proyecto N° 6479 Sener Proyecy of Central Termica Buenos Aires – Argentina.
- [6] Fotos varias de motor 200 Kw, torre de enfriamiento tomada de la torre de la unidad de la Central térmica tomada del caso de estudio. 2023. Pcia de Buenos Aires – Argentina.
- [7] Valores obtenidos del Manual de las calderas de recuperación de calor marca CMI Energy EPTI inc. Documento GO 2048 para la Central de estudio. 2008.
- [8] Valores otorgados por la central térmica (histórico 2013-2023).
- [9] Datos térmicos obtenidos de central térmica (histórico 2010-2024) y corroborado por cálculos propios.
- [10] En audiencia pública llevada a cabo en 2007, previo al montaje de la central, se explicó al público que lo que se ve de centrales térmicas como “contaminación” es debido a las plumas de vapor de las torres de enfriamiento. Fragmento de transcripción realizada sobre el audio en el minuto 54-55. Datos otorgados por central térmica.
- [11] Datos entregados por distribuidor local en Argentina de motores ABB.
- [12] Datos obtenidos de la operación comercial de la central mediterránea bajo estudio.
- [13] Artículo de Abraham Rodríguez (2021) de Andira México como representante de variadores de velocidad ABB.
- [14] Foto 4 y 5 gentileza de variadores ABB, 2023.
- [15] Medición de Corrientes EDM sobre Rodamientos en el Conjunto Motor de Inducción y Variador de Frecuencia. Revista Inge Cuc, Vol. 9, N° 2, pp 83-93, diciembre, 2013.
- [16] Datos de CAMMESA respecto a la Central de estudio.
- [17] Emisión de CO₂ para generar energía eléctrica con un ciclo combinado como el caso de estudio. 0,49 ton CO₂/Mwh