



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD INGENIERÍA

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA
MECÁNICA ELÉCTRICA**

**“PROPUESTA DE UN SISTEMA DE CICLO COMBINADO PARA
MEJORAR EFICIENCIA ENERGÉTICA EN CENTRAL
TÉRMICA DE PAITA”**

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

AUTOR:

BACH. AUGUSTO GUILLERMO SANTAMARIA VIDAURRE

ASESOR:

MG. ING. LUIS ALBERTO RAMOS MARTINEZ

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

ENERGÍA - GENERACIÓN

CHICLAYO – PERÚ

2016

“PROPUESTA DE UN SISTEMA DE CICLO COMBINADO PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA CENTRAL TÉRMICA DE PAITA”

POR:

BACH. AUGUSTO GUILLERMO SANTAMARIA VIDAURRE

PRESENTADA A LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA DE LA UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJOS – SEDE CHICLAYO PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

**ING. ANIBAL JESÚS SALAZAR MENDOZA
PRESIDENTE DE JURADO**

**ING. JAMES SKINER CELADA PADILLA
SECRETARIO DE JURADO**

**ING. LUIS ALBERTO RAMOS MARTINEZ
VOCAL DE JURADO**

DEDICATORIA

A nuestro padre celestial, por estar presente en mi vida, por cuidarme en todo momento y por darme salud para lograr mis metas que me he trazado. .

A mi querida esposa **Marina** por brindarme su respaldo y darme aliento para lograr mis objetivos en mi vida profesional y personal.

A mis hijos, **Jeffrey y Diego**. Ellos son mi fortaleza para esforzarme cada día y siempre los apoyare para que sean personas de bien para la sociedad.

A mis padres **Juan y Genoveva**, quienes me dieron vida, educación, apoyo y consejos.

A mis familiares, por apoyarme y darme las fuerzas para seguir adelante ante los problemas que se presenten en la vida diaria.

AGRADECIMIENTO

A mi alma mater, la Universidad privada Cesar Vallejo, por brindarme oportunidad de lograr mis objetivos como profesional.

Agradecer a los profesores quienes nos brindaron las enseñanzas para ser mejores profesionales con sus conocimientos tanto en la teoría y en la práctica.

A mis asesores de mi tesis, por sus conocimientos que me brindaron, sus consejos y la experiencia profesional que han hecho realidad el desarrollo de mi tesis.

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

AUGUSTO GUILLERMO SANTAMARÍA VIDAURRE con **DNI N° 17616628**, a efecto de cumplir con las disposiciones

En tal sentido me responsabilizó de la información que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad Cesar Vallejo.

Chiclayo 04 de diciembre del 2016

AUGUSTO GUILLERMO SANTAMARÍA VIDAURRE

PRESENTACIÓN

Señores miembros del jurado:

En cumplimiento del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo presento ante ustedes la Tesis titulada “**PROPUESTA DE UN SISTEMA DE CICLO COMBINADO PARA MEJORAR EFICIENCIA ENERGETICA EN CENTRAL TERMICA DE PAITA**”, la misma que someto a vuestra consideración y espero que cumpla con los requisitos de aprobación para obtener el título profesional de Ingeniero Mecánico Electricista.

ÍNDICE

PAGINAS PRELIMINARES

DEDICATORIA.....	3
AGRADECIMIENTO.....	4
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD.....	5
PRESENTACIÓN.....	6
ÍNDICE.....	7
RESUMEN.....	9
ABSTRACT.....	10
INTRODUCCIÓN.....	11
CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	13
1.1. Realidad problemática.....	13
1.1.1. Aspecto internacional.....	13
1.1.2. Aspecto nacional.....	14
1.1.3. Aspecto local.....	15
1. 2. Trabajos previos.....	15
1. 2.1. A nivel internacional.....	15
1. 2. 2. A nivel nacional.....	17
1. 2. 3. A nivel local.....	19
1.3. Teorías relacionadas al tema.....	20
1.4. Formulación del Problema.....	26
1.5. Justificación del Estudio.....	27
1. 1. 5. 1. Justificación tecnológica.....	27
1. 1. 5. 2. Justificación ambiental.....	27
1. 1. 5. 3. Justificación económica.....	28
1. 1. 5. 4. Justificación social.....	28
1. 6. Hipótesis.....	28
1. 7. Objetivos.....	28
1. 7. 1. Objetivo general.....	28
1. 7. 2. Objetivos específicos.....	28
CAPÍTULO II: MARCO METODOLÓGICO.....	29
2.1. Diseño de investigación.....	29
2.2. Operacionalización de variables.....	30

2.3. Población y muestra.....	31
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	31
2.5. Métodos de análisis de datos.....	32
CAPITULO III: RESULTADOS.....	33
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN.....	42
CAPÍTULO V: CONCLUSION.....	47
CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES.....	48
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	49
ANEXOS.....	52

RESUMEN

La presente tesis está enfocada a la mejora de la eficiencia energética de la central térmica Paita, ubicada en la provincia de Paita, distrito de pueblo nuevo de Colán departamento de Piura, proponiendo convertir la central térmica de ciclo simple de 30 MW a un sistema ciclo combinado aprovechando para ello los gases de escape de la turbina de ciclo simple ya existente, mediante el agregado de una unidad de generación turbogenerador.

Simultáneamente la propuesta contribuye entregar energía y potencia adicional sin aumentar el consumo de combustible (gas), promoviendo de esta manera energía limpia sin emisiones de CO₂.

El ciclo combinado implica el aprovechamiento de gases de escape de la turbina de gas para producir vapor en la caldera de recuperación HRSG, el vapor producido es transportado por medio de tubería a la turbina de vapor generando energía adicional.

Se debe adicionar un ciclo de vapor Rankine al sistema ya existente ciclo Brayton para recuperar parte del calor desperdicio de la chimenea.

El objetivo es mejorar la eficiencia energética de la central térmica Paita, para un Futuro con la propuesta de implementar un sistema ciclo combinado (1 turbina a gas - 1 caldera de recuperación de calor - 1 turbina a vapor) en modo 1x1x1.

El resultado del desarrollo de este trabajo tiene como resultado la apreciación de una mejora de la eficiencia energética desde el 33 % en operación en ciclo abierto simple hasta un 57% en operación a ciclo combinado.

Palabras Claves: SISTEMA DE CICLO COMBINADO - EFICIENCIA ENERGÉTICA

ABSTRACT

The present thesis refers to the proposal to improve the energy efficiency in the single cycle turbine model sgt-700, by means of a combined cycle system in the Paita thermal power station, located in the department of Piura.

The development of the thesis refers to the improvement of the energy efficiency that will allow to convert the simple open cycle plant of 30 MW to combined cycle, through the installation of a hrsg boiler and a steam turbine.

The objective is to improve the energy efficiency of the Paita thermal power station, for a future with the proposal to implement a combined cycle system with a gas turbine, heat recovery boiler and a steam turbine.

It will determine the current efficiency of the thermal power station, the factors influencing the thermal efficiency and the economic results of the proposal of a combined cycle system

KeyWords: COMBINED CYCLE SYSTEM - ENERGY EFFICIENCY

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente la demanda de la generación de energía en el departamento de Piura ha crecido en forma sostenida debida al aumento de empresas de producción que consumen energía, al crecimiento de la economía y al consumo relacionado con el desarrollo de la población. Ese aumento de la producción se ha concentrado en las áreas de construcción, comercio, industria y minería, que son los que más demandan energía eléctrica a nivel de la región por constituir esta uno de los importantes insumos de sus procesos de producción. Por tal motivo, se ha visualizado un importante crecimiento de la demanda de electricidad, impulsada además por el dinamismo del mercado de clientes libres.

Dada la importancia de implementar nueva tecnología para mejorar la eficiencia térmica y bajar los costos de operación de las centrales termoeléctricas se propone mejorar la eficiencia energética convirtiendo la central de ciclo simple a ciclo combinado implementando nueva tecnología para el rendimiento de mejor eficiencia energética en la central térmica, bajando los costos de operación y evitando desperdiciar las emisiones de gases que emana la turbina al medio ambiente.

El propósito de esta tesis es mejorar la eficiencia energética convirtiendo la central térmica de Paita de gas natural, de ciclo simple a ciclo combinado gas-vapor.

La presente tesis de nominada “**propuesta de un sistema ciclo combinado para mejorar la eficiencia energética en la central térmica Paita**”. Tiene como finalidad mejorar la eficiencia energética en la central térmica Paita.

El informe está estructurado por capítulos.

En el Capítulo I: PROBLEMA DE INVESTIGACION. Se analiza el Planteamiento del Problema a Nivel: Internacional, Nacional, Regional; con lo cual se obtiene como Formulación del Problema el siguiente: ¿Cómo mejorar eficiencia energética en central térmica de Paita?

Así mismo se realiza la Justificación tanto en el Aspecto tecnológico, ambiental, Social y económica.

Por otro lado los trabajos previos que rigen este estudio también se analizan a nivel Internacional, Nacional y Regional.

En el capítulo II: MARCO TEORICO. En base a las variables independientes y dependientes determinados como “**propuesta de un sistema ciclo combinado para mejorar la eficiencia energética en la central térmica Paita**” respectivamente, se han analizado los conceptos relacionados a sistema ciclo combinado.

Con respecto a la variable independiente se determina el sistema ciclo combinado y sus objetivos.

Con respecto a la variable dependiente se refiere a la eficiencia energética evaluando la pérdida de los gases calientes y como recuperar para mejorar la eficiencia térmica.

En el capítulo III: MARCO METODOLOGICO. Se realiza el estudio de la hipótesis, se hace la definición conceptual y operacional tanto de la variable independiente como dependiente, se evalúa el tipo de estudio y diseño.

Capítulo IV: RESULTADO Y DISCUSIÓN. Se analizan los resultados obtenidos y se discuten los mismos, se hace referencia que los resultados han sido evaluados en base a los indicadores empleados y las dimensiones usadas son: **EFICIENCIA Y EFICACIA.**

En las CONCLUSIONES. Se analizan las conclusiones propias de estudio, en base en los objetivos general y específicos se han evaluado.

CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.

1.1 Realidad Problemática.

1.1.1. Aspecto internacional.

La globalización y el aumento constante de presión competitiva están obligando a las centrales térmicas del mundo a mejorar la eficiencia energética, a fin de incrementar su productividad, reducir los costos de operación. (Sitrain, 2015, p. 2).

“El incesante aumento de la demanda energética y la preocupación por disminuir las emisiones de CO2 provoco, durante la década pasada, un incremento espectacular en el número de centrales térmicas de ciclo combinado en España”

(García, 2012, p.871).

“En México las centrales térmicas de ciclo simple se están implementando de mejor tecnología para mejorar su eficiencia energética debido a la demanda de electricidad que existe en el país” (Cando y Hernández, 2012, p.01).

Desde hace ya un tiempo a ésta parte, el mundo se está enfrentado a problemas energéticos, debido al agotamiento de las reservas mundiales energéticas (de petróleo), el cual es utilizado como fuente directa de energía (motores de vehículos u otros), o bien para que a través de él se generen otras energías (como por ejemplo la Eléctrica), este fenómeno irreversible ha sido denominado como “Crisis Energética Mundial”. (Schneider Electric, 2013, p.06).

Según Schneider Electric el consumo de la energía eléctrica ha aumentado en un 45% desde el año 1980, está proyectado que sea un 70% más alto para el año 2030. Los mercados emergentes donde se encuentran incluidos la China y la India representan más del 75% de la nueva demanda; en tanto los mercados consolidados como los de Norteamérica, Europa y Japón también enfrentarán una demanda creciente, ejerciendo nuevas presiones en los recursos globales actuales y futuros. Incrementando el uso, como también el precio de los combustibles que son utilizados para la generación de energía

eléctrica, sumado también a esto el uso ineficiente que se viene realizando de este tipo de energía. Lo cual como consecuencia tenemos el aumentando de las emanaciones de gases contaminantes, poniendo en riesgo el aumento del calentamiento global, como también el aumento de los consumos y gastos atribuibles a la energía eléctrica. (Schneider Electric, 2013, p.06).

1.1.2 aspecto nacional.

“La última década, del Sector Energía peruano ha registrado un importante crecimiento debido al incremento de la demanda interna ligada al desarrollo económico de productos y servicios de calidad a precios que reflejaron las condiciones óptimas de un mercado competitivo” (Ministerio de Energía y Minas, 2014, p.09).

En el Plan Energético Nacional 2014-2025 elaborado por el Ministerio de Energía y Minas 2014; plantea que en el periodo en mención se espera que el consumo final de energía continúe creciendo en función al desarrollo de la economía interna, al aumento de la población urbana y a la ampliación de la cobertura energía eléctrica. La demanda pasará de 5 800 megavatios (MW) en el año 2014 a un rango entre 9 500 MW y 12 300 MW al 2025 según los escenarios de crecimiento del PBI de 4,5% y 6,5% respectivamente. La dependencia a los combustibles fósiles seguirá teniendo un factor predominante como también a los hidrocarburos líquidos y gaseosos en la matriz energética alcanzados el 76%. Estos no siempre están disponibles a nivel local, afectando la estabilidad de la cadena de suministros y desde la década de los años 70 se han generado diversas crisis y variabilidad de precios. Todos estos factores están y seguirán influyendo en el alza del kW/h. (Ministerio de Energía y Minas, 2014, p.14).

En los últimos años la demanda de energía en el Perú ha aumentado en forma sostenida debido al incremento de la inversión, el crecimiento de la economía y el consumo referente con el desarrollo.

Existe la voluntad de reducir de los niveles de emisión de los gases que se producen al generar energía eléctrica. Las centrales termoeléctricas producen energía eléctrica a partir de la quema de combustibles fósiles como el petróleo, el gas natural o el carbón. **(Mendiola 2012, p.10)**

1.1.3. Local.

En Piura, actualmente no se viene haciendo uso correcto de la energía eléctrica tanto a nivel Industrial/Servicios, como en el doméstico; no se tiene una política clara frente a la eficiencia energética eléctrica. Las empresas Distribuidoras que operan en esta área, no están comprometidas con el tema en mención, hacen que los sistemas eléctricos trabajen ineficientemente produciendo grandes pérdidas de energía.

Y por parte de los usuarios, como se viene evidenciando éstos hacen un uso incorrecto de la energía eléctrica.

1.2 trabajos previos.

A NIVEL INTERNACIONAL.

Ramírez (2014, p.10), en su proyecto titulado “**Estudio de la eficiencia energética de una central de ciclo combinado gas-vapor**”, consiste en el análisis termodinámico (energético + exegético) de una planta de producción de potencia mediante la tecnología de ciclo combinado. Dicho estudio se realiza sobre el Ciclo Combinado II presente en la Central Térmica de Granadilla (Islas Canarias, España) y la cual es explotada por la compañía ENDESA. El análisis comprenderá del estudio energético y energético de la instalación cuando opera a plena carga y cuando se modifican algunas de las variables más características de este tipo de instalaciones.

Las plantas de producción eléctrica de ciclo combinado emplean en conjunto dos tecnologías para su funcionamiento: se combina un ciclo de vapor (ciclo Rankine) y un ciclo de gas (basado en el ciclo Brayton). La unión de estas dos tecnologías se consigue gracias a un complejo intercambiador de calor el cual se denomina Caldera de Recuperación o HRSG (de sus siglas en inglés Heat Recovery Steam Generator), de manera que se aprovecha la alta temperatura de los gases de escape generados por el ciclo de la turbina de gas para la producción de vapor.

Gonzales (2007, p.4), en su proyecto titulado “**Estudio sobre la eficiencia energética de centrales hidroeléctricas implantadas en comunidades rurales de La Paz, Bolivia**” consiste en el estudio de análisis de la eficiencia energética de las turbinas de las pequeñas centrales hidroeléctricas, así como analizar la sostenibilidad en el tiempo de las mismas, para poder generar campos de aprendizaje y recomendaciones. En de la eficiencia se pretende analizar la contribución de los proyectos a la reducción de los costos de operación de los combustible, el aumento de la productividad y beneficios comunales. En lo social, se busca evaluar los cambios en salud, educación, relaciones sociales, confort, acceso a medios para la comunicación y desarrollo de nuevas capacidades por parte de los comuneros. El análisis medioambiental consiste principalmente en el cálculo de la reducción de emisión de gases de efecto invernadero. Finalmente se pretende analizar el grado de sostenibilidad de los proyectos en el tiempo. A partir de estos análisis, se extraen una serie de lecciones aprendidas y recomendaciones que permitan la mejora de la formulación, implementación y evaluación de futuros proyectos.

Este estudio es de gran importancia por ser el primero que se realiza en este ámbito en Bolivia, y se ha desarrollado una metodología de evaluación específicamente adaptada a proyectos de electrificación rural.

Silva (2009, p. 20), en su proyecto titulado “**Alternativas de generación termoeléctrica utilizando el coque de petróleo como fuente de energía**”

Este trabajo resume los resultados de la evaluación técnica, financiera y económica de una central térmica de generación eléctrica en la zona de Venezuela. Se consideran tres alternativas tecnológicas para mejorar la

Producción: de coque, petróleo pulverizado en calderas convencionales, calderas de presurizado y centrales de ciclo combinado con gasificación integrada. En conclusión, un proyecto de coque de petróleo generado por las refinерías venezolanas que procesan petróleo pesado es factible y genera beneficios para el promotor del proyecto, las industrias del área oriental y para la sociedad venezolana.

A NIVEL NACIONAL.

Quispe (2010, p.6), en su tesis titulada “**Análisis energético de un sistema de cogeneración con ciclo combinado en la central térmica chilca**”.

Se presentan y evalúan alternativas energéticas, que mejoren el rendimiento de los sistemas, reduciendo los niveles de emisión y promoviendo nuevas fuentes de energías, así como su correcta administración.

Estas tecnologías deben permitir un uso racional y eficiente de los recursos energéticos, y deben ser aplicables al entorno industrial de nuestro país con mejoras sustanciales.

Para el estudio centrado en la cogeneración, se seleccionó una planta azucarera por ser la que tiene mayores posibilidades para la tecnología evaluada. El método utilizado consiste, en primer lugar, en evaluar un sistema convencional de cogeneración con turbina de vapor, a partir de un análisis energético.

Posteriormente, a partir de los mismos datos, se implementará un sistema de cogeneración con ciclo combinado y gasificación, el cual también será analizado energéticamente con el objetivo de comparar los balances de ambos sistemas y ver las mejoras que supone la gasificación, la gasificación es una técnica propicia para buscar nuevas fuentes de energía, ya que convierte la biomasa en combustibles gaseosos con propiedades adecuadas para una siguiente aplicación respecto a la combustión directa de biomasa, y el ciclo combinado respecto al ciclo simple.

Dentro de los resultados obtenidos, se puede mencionar la relevancia que tiene la cogeneración, al generar energía eléctrica que cubra la demanda propia y en caso de excesos poder venderla a otros usuarios, teniendo una ganancia económica adicional, así como la producción de vapor para procesos. Además, se comprobó que un sistema de ciclo combinado puede llegar a producir hasta el triple de trabajo neto que un ciclo con turbina de vapor. Por último, la gasificación es una técnica propicia para buscar nuevas fuentes de energía, ya que convierte la biomasa en combustibles gaseosos con propiedades adecuadas para una siguiente aplicación.

Serapio (2006, p.16), en el proyecto titulado “**Diseño de una central de ciclo combinado con gas natural para cubrir la demanda base de energía en la región chavín**”. Debido a la alta demanda de energía se debe diseñar una planta de ciclo combinado de 100 MW la cual debe operar como central base para poder cubrir la demanda de las tres empresas principales de la región: compañía minera antamina, compañía minera barrica y empresa sider Perú.

El combustible a utilizar debe ser Gas Natural, el cual justificaría la construcción de un gasoducto a instalaciones cercanas a la Empresa SiderPeru, donde iría montada la Planta de Ciclo Combinado.

Colotta, Loarte, & Atuncar, (2010, p.98), en su proyecto titulado “**Ahorro del gas de Camisea por uso de un ciclo combinado para mejorar la eficiencia energética de gas y vapor en la generación eléctrica**” este proyecto se centra en el mejoramiento de la productividad del gas de Camisea y mejoramiento de la producción de energía eléctrica, se dispuso que las actuales plantas térmicas a gas deberán mejorar su equipamiento para producir más electricidad usando la misma cantidad de combustible.

Las centrales térmicas instaladas alimentadas a gas natural actualmente son de ciclo simple con una eficiencia que no sobrepasa el 30%. Para sacar el mayor provecho del gas de Camisea para la producción de energía eléctrica, se dispuso a través del Decreto legislativo 1041 de junio del 2009, busca que las actuales plantas térmicas a gas deberán mejorar su equipamiento para producir más electricidad usando la misma cantidad de combustible. Este decreto busca impulsar las inversiones en el sector eléctrico y dispone que el valor inicial de la eficiencia térmica reconocido, será de 30% durante los 36 primeros meses de entrada en vigencia de esta norma, y que después deberá incrementarse a 50%. El trabajo consiste en determinar el aumento de la eficiencia térmica por modificación de las centrales actuales, a ciclo combinado gas-vapor, con el consiguiente ahorro de gas natural.

La continua búsqueda de eficiencias térmicas más altas ha originado modificaciones innovadoras en las centrales eléctricas convencionales.

La modificación más extendida incluye un ciclo de potencia de gas (ciclo Brayton) que remata con un ciclo de potencia de vapor (ciclo Rankine), esto se denomina ciclo combinado.

Los recientes desarrollos tecnológicos para las turbinas de gas han logrado que el ciclo combinado de gas y vapor resulte muy atractivo desde el punto de vista económico, ya que el ciclo combinado aumenta la eficiencia sin incrementar mucho el costo inicial.

A NIVEL LOCAL

Fiestas (2011, p.8) en su proyecto titulado **“Ahorro energético en el sistema de la universidad de Piura”** nos dice que en las últimas décadas se ha presentado un incremento en los costos de los combustibles debido a la escases de las reservas mundiales de los mismos.

Esta es una realidad mundial en nuestro país, el aumento de los combustibles no ha sido de manera alarmante para la población debido a que parte de este aumento en los precios ha sido subsidiado por el estado peruano. Parte de la matriz energética peruana proviene de los hidrocarburos: el 56% de la matriz energética en el año 2007 corresponde al petróleo y el 17% al Gas Natural + LGN. Bajo este escenario se presentan interesantes alternativas energéticas tales como las energías renovables, los biocombustibles y la mejora de la gestión energética mediante el ahorro energético. Cabe indicar que este aumento del precio del combustible trae consigo un aumento del precio de la energía eléctrica, ya que la mayor fuente de generación de la misma es mediante centrales térmicas.

(Rodríguez, 2015, p.17), en su proyecto titulado **“metodología de cálculo basado en el estudio energético y económicos en la central Malacas - Piura”**

Consiste en estudiar la producción energética y económica para la conversión de la central térmica de Malacas de gas natural, de ciclo simple abierto a ciclo combinado gas-vapor, a través del modelo de cálculo que contempla estudios termodinámicos y económicos para mejorar los indicadores energéticos y económicos.

El resultado del estudio energético muestra una mejora de la eficiencia térmica desde 30.09% en operación en ciclo abierto simple, hasta 52.11% en operación en ciclo combinado. El costo variable total (CVT), disminuirá desde 29.66 US\$/MWh, hasta 19.05 US\$/MWh. En el estudio económico se obtiene un resultado de 1.29 en la relación beneficio costo (B/C), 25.6% en la tasa interna de retorno (TIR) y aproximadamente 5 años para la recuperación de la inversión de la central.

1.3 Teorías relacionadas al Tema.

Ciclo combinado.

“Es el acoplamiento de dos ciclos termodinámicos individuales, uno que opera a alta temperatura y otro con menos temperatura de trabajo” (Sabugal y Gómez, 2006, p.21).

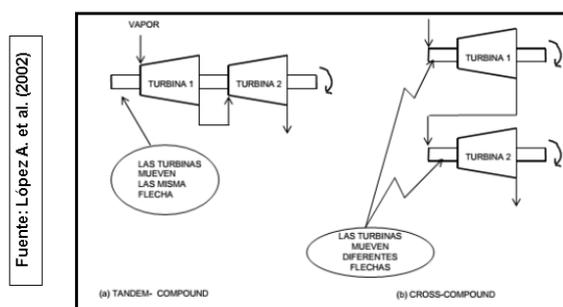
“El calor residual del proceso de generación de trabajo neto en el ciclo de alta temperatura se aprovecha en su mayor parte en un intercambiador de calor para producir trabajo en un ciclo de baja temperatura” (Sabugal y Gómez, 2006, p.21).

Turbinas Compuestas

“Los tipos de turbinas compuestas pueden agruparse en diferentes formas de tal manera que cuando el vapor sale de una turbina y entra a otra y así sucesivamente. Entonces cada turbina será un componente del grupo y se dice que forman una turbina compuesta” (López A. et al. 2002).

FIGURA 1

Turbinas compuesta



Elementos principales y auxiliares de las Turbinas de Vapor.

“La turbina de vapor juega un papel importante en la generación de energía eléctrica, ya que son una de las máquinas que mejor se adaptan para mover grandes generadores eléctricos” (Gaytán M. y Márquez 2002).

Gaytán M. et al. (2002) también mencionan que de los elementos fundamentales de una turbina, existen otros elementos auxiliares que son tan importantes como los anteriores. Estos son los siguientes: Pistón de equilibrio, cojinetes o chumacera, sistema de regulación o gobierno, sistema de lubricación, sistema de sellado, dispositivos de protección.

Funcionamiento de un generador.

“continúan sosteniendo que si en un generador síncrono se aplica al embobinado del rotor una corriente continua, se producirá un campo magnético en el rotor” (Gaytán M. et. al. 2002).

Entonces el rotor del generador se impulsará por medio de una turbina de vapor (Puesto que el rotor dispone de un masa considerable y de gran inercia), lo cual producirá un campo magnético rotatorio dentro de la máquina. Este campo magnético rotatorio inducirá un sistema trifásico de voltajes dentro del embobinado del estator del generador. La velocidad de rotación del campo depende de la frecuencia de corriente alterna y del número de polos del estator.

En el caso de un generador alimentado por una turbina de vapor, el par ejercido por la flecha conectada al generador deberá de ser lo suficientemente grande para vencer el par de inercia del generador. (Gaytán M. et. al. 2002).

Turbina a gas

“Motor térmico rotativo de combustión interna en el que la energía aportada por la combustión de un combustible gaseoso, se obtienen unos gases a alta presión y temperatura que mediante su expansión en el cuerpo de turbinas producen energía mecánica” (Martínez Reina, 2013, p.17).

“Esta energía mecánica se transfiere a través de un eje a un generador eléctrico, con la consiguiente obtención de energía mecánica” (Martínez Reina, 2013, p.17).

Sostiene que la energía eléctrica se produce fundamentalmente mediante el uso de turbogeneradores, turbinas de gas, turbinas hidráulicas, motores diésel, etc. La turbina de vapor permite alcanzar la mayor capacidad de generación. Debe quedar claro que este empleo no es el único de las turbinas de vapor, también existen aplicaciones en donde una planta de proceso tiene necesidad de grandes cantidades de calor, las industrias petroquímicas y otras. (Flores Abad 2012)

Central termoeléctrica de ciclo combinado.

“Una central de ciclo combinado en una planta produce energía eléctrica con un generador accionado por una turbina de combustión, que utiliza como combustible principal gas natural (metano en un 90 % aproximadamente)” (García, 2012, p.3)

“Los gases de escape de la combustión son aprovechados para calentar agua en una caldera de recuperación que produce vapor aprovechable para accionar una segunda turbina. Esta segunda turbina puede accionar el mismo Generador que la de gas u otro” (García, 2012, p.3).

Eficiencia energética.

“La eficiencia energética es la obtención de los mismos bienes y servicios energéticos, pero con mucha menos energía, con la misma o mayor calidad de vida, con menos contaminación, a un precio inferior al actual, alargando la vida de los recursos y con menos conflicto” (AEDENAT et al., 1998)

Factores del Mejoramiento de la Productividad

“El mejoramiento de la productividad no consiste únicamente en hacer las cosas mejor: es más importante hacer mejor las cosas correctas” (Prokopenko, 1989, p.9).

Motores térmicos.

“Los motores térmicos son dispositivos que transforman calor en trabajo” (Santiago Quinchiguango, 2014, p.3).

“El calor procede usualmente de una reacción de combustión (aunque también puede ser de origen nuclear, solar, etc.), siendo absorbido por un fluido motor que, al describir un ciclo termodinámico, pone piezas en movimiento realizando un trabajo” (Santiago Quinchiguango, 2014, p.3).

Cogeneración con turbina de vapor.

“En estos sistemas, la energía mecánica se produce por la expansión del vapor de alta presión procedente de una caldera convencional. El uso de esta turbina fue el primero en cogeneración” (Santiago Quinchiguango, 2014, p.10).

Indicadores de la eficiencia.

Cuando se trata medir la eficiencia energética, en términos generales y al igual que sucede al definirla, no se tiene en cuenta la relación entre energía útil y total empleada, como indicaría su definición física, aunque si se emplee esta medida en maquinaria, luminarias y electrodomésticos.

Esta eficiencia energética a menor escala, de gran importancia a nivel usuario, se relaciona directamente con el rendimiento y constituye uno de los pilares de las políticas energéticas, por su repercusión en el cómputo global. A gran escala, y haciendo referencia a la definición del término más extendida en los últimos años, se emplean indicadores que relacionan la energía con temas económicos. Los más empleados son los índices de eficiencia e intensidad, atendiendo a la relación entre el PIB y el consumo energético, y diferenciando entre el primario y el final. (Santamarta, 2007, p.12).

Aumento del consumo energético.

“La oferta energética, que se encamina a un aumento dando por hecho que la demanda seguirá la misma tendencia, es la que determina la planificación del sector energético” (Fernández Güell, 2004, p.21).

“Los problemas medioambientales y sociales actuales parecen pedir una disminución del consumo, pero como algunos autores han recogido ya esta se hace imposible con las dinámicas económicas actuales” (Fernández Güell, 2004, p.21).

EFFECTOS DE LA PRESIÓN Y LA TEMPERATURA EN EL CICLO RANKINE

La idea principal de las modificaciones para **incrementar la eficiencia térmica** del ciclo de potencia es igual; hay aumento de la temperatura promedio a la que el calor transfiere al fluido de trabajo de la caldera, en bajar la temperatura promedio a la que el calor se pierde el fluido de trabajo en el condensador. En general en un ciclo la modificación que produzca un aumento del área por el ciclo sin modificar la cantidad de energía suministrada, ha de aumentar el rendimiento, puesto que un aumento del área encerrada por el ciclo un aumento trabajo neto. (Martínez, 2013, p.18).

Análisis Energético del Ciclo Rankine

“Aplicar las ecuaciones de la energía por unidad de masa y régimen estacionario a cada componente por separar se obtiene las expresiones del calor y el trabajo del ciclo Rankine” (Miguez, 2013, p.15).

LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL LADO DE LA OFERTA.

“La Eficiencia Energética debe buscarse en toda la cadena de valor del sector energético, desde la generación, pasando por el transporte y la distribución (lado de la oferta) hasta el consumo final realizado por los usuarios (lado de la demanda)” (Miguez, 2013, p.62).

“En cada uno de estos eslabones existe un potencial de mejora y por ello se han establecido medidas y políticas para impulsar la eficiencia y lograr el mejor uso de la energía” (Miguez, 2013, p.62).

La Eficiencia Energética debe buscarse en toda la cadena de valor del sector energético, desde la generación, pasando por el transporte y la distribución (lado de la oferta) hasta el consumo final realizado por los usuarios (lado de la demanda). En cada uno de estos eslabones existe un potencial de mejora y por ello se han establecido medidas y políticas para impulsar la eficiencia y lograr el mejor uso de la energía.(Miguez, 2013, p.62).

La eficiencia de la segunda ley.

Para medir el funcionamiento de cualquier proceso, dispositivo o sistema se utiliza el concepto de eficiencia.

El parámetro más ampliamente usado en la termodinámica este sentido, generalmente está basado en el concepto de energía, con el cual no se hace una distinción entre la energía de baja calidad y la de alta calidad. Un ejemplo sencillo lo constituye la eficiencia térmica de una máquina de calor, la cual se define como el cociente que resulta de dividir el trabajo desarrollado entre el calor añadido al sistema durante el ciclo. En esta definición se da el mismo peso al calor y al trabajo. Si bien este tipo de eficiencia es útil para determinados propósitos, no permiten obtener una medida precisa del comportamiento termodinámico. Puesto que es la disponibilidad (exergía) y no la energía la que se consume durante los procesos termodinámicos, resulta más lógico disponer de una eficiencia que esté basada en el concepto de disponibilidad. Introducimos ahora el concepto de eficiencia de la segunda ley que se basa en la definición de disponibilidad y en la destrucción de la disponibilidad. (Gómez, 2013, p.49)

Uso eficiente de la energía eléctrica

“Conjunto de acciones que nos conllevan a consumir menos energía, de esta manera optimizar los procesos productivos y el empleo de la energía utilizando lo mismo o menos para producir más bienes y servicios” (Gómez, 2013, p.49).

Dicho de otra manera, producir o brindar más con menos energía eléctrica.

Pueden realizarse uso eficiente de la energía adoptando medidas técnicas, organizativas, institucionales y estructurales, o modificando el comportamiento del consumo energético.

a) ¿Porque es importante hacer uso eficiente de la energía eléctrica?

No cabe duda de que el uso eficiente (consumo responsable) y el uso eficiente de las fuentes de energía resultan esenciales para el futuro de todos los habitantes del planeta.

“Pero también, al ahorrar energía eléctrica en cualquier organización nos va a proporcionar mejoras tanto económicas, técnicas como también ambientales, además de otros beneficios para las organizaciones” (OPTIMAGRID, 2011, p.11).

Beneficios del uso eficiente la energía eléctrica:

- Ahorro de costes de energía eléctrica, porque contribuye a disminuir el consumo de electricidad en el lugar de utilización y a generar una concientización de un uso eficiente de la energía.
- Permite postergar el agotamiento de los recursos energéticos fósiles.
- Reducción de la dependencia energética exterior.
- Contribuye al cuidado del medio ambiente: Optimiza las necesidades de generar energía y reduce el impacto ambiental asociado esto por disminución de las emisiones de CO2.
- Mejora en el rendimiento de los equipos.
- Potencia la incorporación de la innovación tecnológica.
- Y otros más beneficios.

Gestión energética eléctrica

La suma de medidas planificadas y llevadas a cabo para conseguir el objetivo de utilizar la mínima cantidad posible de energía mientras se mantienen los niveles mínimos de confort (en oficinas, instituciones, edificios) y los niveles de producción (en fábricas e industrias).

“Es por tanto un procedimiento organizado de previsión y control del consumo de energía, que tiene como fin obtener el mayor rendimiento energético eléctrico posible sin disminuir el nivel de prestaciones obtenidas” (OPTIMAGRID, 2011, p.11).

1.4. Formulación del Problema.

¿Cómo mejorar eficiencia energética en central térmica de Paita?

1.5. Justificación del Estudio.

Debido a la gran demanda de electricidad en el departamento de Piura en donde hay incremento del turismo, comercio y la industria se ha visto la necesidad de

cubrir parte de esta demanda energética actual con la propuesta de conversión de de la central térmica de Paita que actualmente es de un sistema de ciclo simple con una turbina de potencia instalada de 30 MW y una potencia efectiva de 27 MW, a un sistema de ciclo combinado gas-vapor, donde aumentara la eficiencia energética de 33 % a un 57 %.

Actualmente las centrales de ciclo ya no son una alternativa para enfrentar la creciente demanda de energía en la zona norte del país. La viabilidad económica de estos ciclos está dada por el bajo precio al que se suministra el gas a las empresas que generan energía debido a las políticas de subsidio para este rubro lo cual no incentiva al inversionista a invertir en centrales de ciclo combinado.

El estado está exigiendo en la actualidad bajo normas regulatorias a las empresas que hagan más eficientes sus procesos de generación, lo cual ha llevado introducir los sistemas ciclos combinados de generación eléctrica.

El presente trabajo propone mejorar la eficiencia energética para la central térmica Paita con la implementación de un sistema ciclo combinado sobre la base del ciclo simple actual con que cuenta la central térmica.

1.5.1 Justificación tecnológica.

Los recientes desarrollos en la tecnología de las turbinas de ciclo combinado de gas-vapor han permitido el estudio de los sistemas de ciclo combinado para mejorar la eficiencia energética en la central térmica de Paita, que contribuirá a disminuir los costos del proceso con la ventaja de un mayor despacho de la central térmica por el mejor posicionamiento de sus máquinas, resultante de un menor precio declarado.

1.5.2 Justificación ambiental.

La propuesta de un sistema de ciclo combinado en la central térmica de Paita, permitirá disminuir los gases calientes que emana la turbina al medio ambiente y evitar la contaminación ambiental y el calentamiento global.

1.5.3 Justificación social.

El mejoramiento de la eficiencia energética en la central térmica de Paita, permitirá el aumento de la potencia en la turbina lo cual será en beneficio del empresario y de los trabajadores.

1.5.4 Justificación económica.

Disminuye los costos de energía de la central térmica de Paita, originando una mejor productividad energética y competitividad empresarial.

1.6 Hipótesis.

La propuesta de un sistema de ciclo combinado permite mejorar la eficiencia energética en central térmica de Paita.

1.7 Objetivos.

1.7.1. Objetivo General

Proponer un sistema de ciclo combinado para mejorar eficiencia energética en central térmica de Paita.

1.7.2. Objetivos Específicos

- Diagnosticar el estado actual de la eficiencia energética en turbina a gas de central térmica de Paita.
- Identificar los factores influyentes en eficiencia energética en central térmica de Paita.
- Diseñar un sistema de ciclo combinado para lograr eficiencia energética en turbina a gas de central térmica de Paita.
- Estimar los resultados que generara la implantación de un sistema de ciclo combinado en eficiencia Energética en central térmica de Paita.

CAPÍTULO II : MARCO MÉTODOLÓGICO.

2.1. Diseño de Investigación.

No experimental.- Debido que en nuestra investigación no se pretende variar intencionalmente variables independientes por lo que se observarán los fenómenos tal y como se dan en su contexto. Esto se debe a las limitaciones explicadas sobre el costo de implantación y el tiempo prolongado de obtención de resultado. **KERLINGER (1979, P.193).**

2.2. Operacionalización de variables.

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensión	Indicadores	Escala de Medición
Variable independiente: SISTEMA CICLO COMBINADO	Sistema Energético altamente eficiente, de bajos costes de inversión en comparación con los restantes Sistemas Energéticos de Generación de electricidad (Santiago Sabogal garcia,2006)	Se determina el escenario actual de la empresa para luego plantear un escenario óptimo, programando actividades para lograrlo.	Gases calientes de la turbina	Eficiencia termica	Razón
			Rendimiento energético	Reducción de perdida de energía	
Variable dependiente: EFICIENCIA ENERGETICA	Conjunto de acciones (Gestión adecuada) que tienden a hacer más eficiente el consumo de energía sin menoscabo de la calidad del servicio obtenido por el uso de esta, (OPTIMAGRID, 2011, p.15)	Se determina la eficiencia energética, reduciendo las pérdidas de energía y aumentando el rendimiento energético de la central térmica. (ALTMANN, Carolina. El Mantenimiento y la Eficiencia Energética. 2010).	Requerimiento Energético (Carga Instalada)	Corriente Tensión Potencias Frecuencia Factor de potencia Iluminancia	Razón
			Consumo diario		

2.3. Población y muestra.

2.3.1. Población.

Estará constituida por la central térmica Paita, Que me permitido recaudar todos los elementos de análisis necesarios para hacer posible el logro de los objetivos de estudio.

2.3.2. Muestra: La muestra está dada por la turbina sgt-700 de la central térmica

2.4. Técnica de Instrumentos de Recolección de datos.

Para poder conocer la realidad problemática, identificar necesidades, plantear requerimientos técnicos tomamos en cuenta:

Observación Directa.

Se realizó la visualización detenidamente de todas las instalaciones de la central térmica e identificar el problema de la eficiencia energética actual.

Análisis Documental.

Elaboración de fichas de resúmenes, textuales, de comentarios, se adquirió información de empresas dedicadas a la generación eléctrica, de normas técnicas, y catálogos de fabricantes (ficha de registro de datos).

Encuestas.

Formuladas directamente a los operadores de la central térmica con el propósito de extraer información real y actual de los equipos y maquinaria, saber el funcionamiento y secuencia del proceso, con el fin de mejorar la eficiencia energética (cuestionarios).

Entrevista.

Realizadas al personal de planta y al jefe de operaciones de la central térmica.

2.5 Métodos de análisis de datos

Método analítico: Este método fue aplicado en el proyecto ya que nos permitió analizar en forma individual y en conjunto la eficiencia energética actual de la turbina.

Método deductivo: ya que partimos de datos generales aceptados como válidos es decir el control de tiempos de la producción de energía eléctrica de la central térmica.

Método inductivo: este método fue aplicado ya que adquirimos datos reales y actuales a su realidad empleados en el proceso. Partiendo de ellos a una forma general como es la mejorar la eficiencia energética en la central térmica Paita.

Aspectos éticos.

En el presente proyecto de investigación se consideraron aspectos éticos como el respeto a la propiedad intelectual, el respeto a la información confidencial por parte de los autores.

Además al aplicar el instrumento de recolección de datos se está evitando herir la susceptibilidad de los individuos que participaron en el estudio; respetando su privacidad y protegiendo su identidad, proporcionándonos resultados honestos y confiables.

En este proyecto se respeta la privacidad de la información porque se está dejando las referencias citando a cada autor.

CAPÍTULO III: RESULTADOS.

Objetivo Específico N° 1.

Diagnosticar el estado actual de la Eficiencia energética de la central térmica Paita.

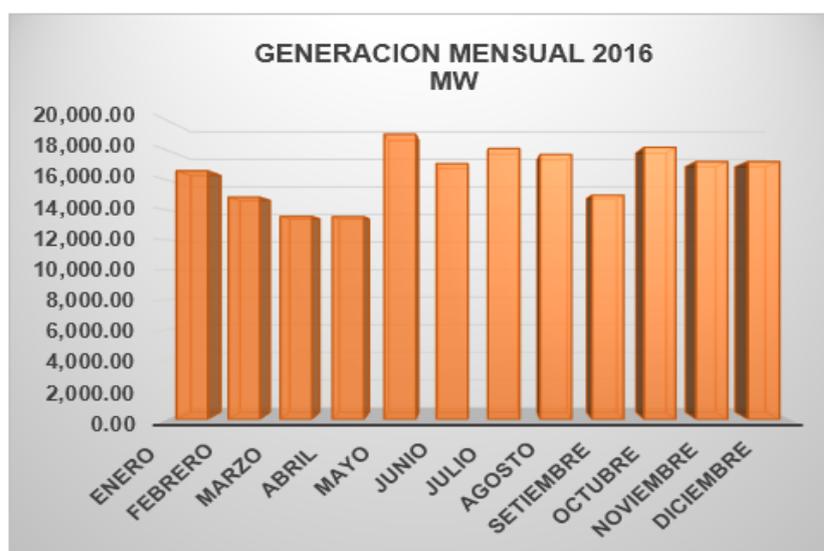
CUADRO N° 1

CENTRAL TERMICA PAITA			
MES	GENERACION MENSUAL 2016 MW	POTENCIA INSTALADA MW	POTENCIA EFECTIVA MWh
ENERO	16,608.89	30	28.74
FEBRERO	14,850.53	30	27.32
MARZO	13,562.27	30	27.27
ABRIL	13,550.28	30	27.25
MAYO	19,054.57	30	28.1
JUNIO	17,085.89	30	28.46
JULIO	18,091.55	30	28.61
AGOSTO	17,696.56	30	28.15
SETIEMBRE	14,977.69	30	28.12
OCTUBRE	18,170.26	30	27.67
NOVIEMBRE	17,221.21	30	27.87
DICIEMBRE	17,220.10	30	27.86
TOTAL	198,089.80	POTENCIA	

Fuente: elaboración propia

En este cuadro se aprecia la generación de cada mes, la potencia instalada, la potencia efectiva en MWh y el total de la potencia generada.

GRAFICO N°1



Fuente: elaboración propia

En este grafico se observa que la producción de energía es variable, en el mes marzo y abril hubo problemas con la estación reguladora de gas que alimenta de a la central térmica por la calidad del gas.

En mes de setiembre se observa una variación en la generación, debido al mantenimiento programado. El resto de meses la producción es normal y además la empresa que nos vende el gas soluciono el problema de su calidad del gas.

Actualmente la potencia efectiva de la turbina SGT -700 es de 27 MWh con una generación de 648 MW las 24 horas del día.

La eficiencia energética de la actual turbina de ciclo simple es de 33% y el 57% de la eficiencia energética se pierde al medio ambiente por los gases calientes que emana la turbina.

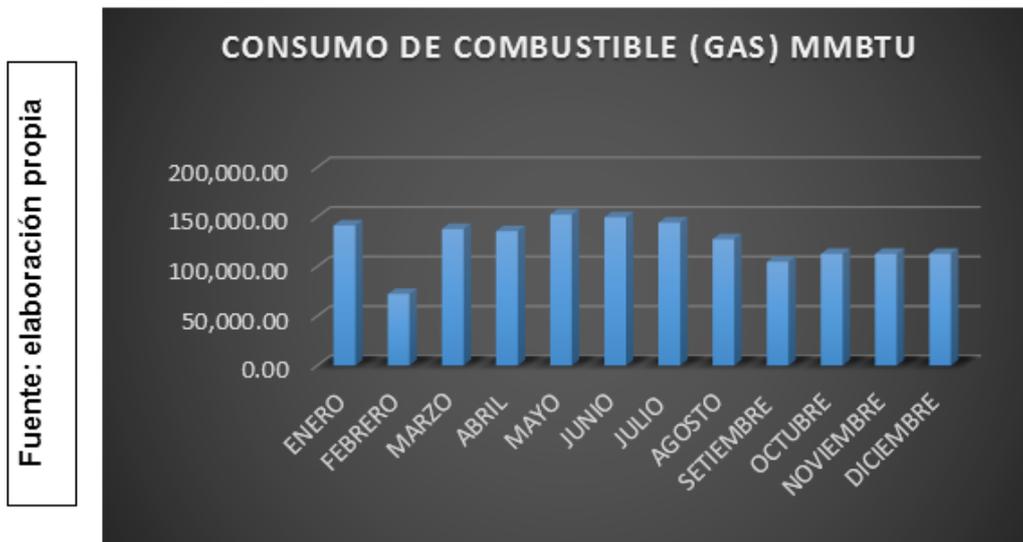
CONSUMO DE GAS

CUADRO N°2

Mes	Vol. MMscf	Energía MMBTU
Enero	172997.9006	189349.1317
Febrero	154470.0788	168370.6628
Marzo	71209.4544	77498.99676
Abril	143009.2663	152725.0488
Mayo	196601.4693	209661.023
Junio	179776.6821	191559.9613
Julio	191051.6914	202852.0414
Agosto	187037.0314	199653.7964
Septiembre	159971.3723	170155.4026
Octubre	193174.9622	205131.8528
Noviembre	182226.9835	194053.7988
Diciembre	190368.145	203744.1447
Total	2 021 895.037	2 164 755.861

Fuente: elaboración propia

GRAFICO N°2



Fuente: elaboración propia

En grafico se observa la producción de cada mes y en los meses de setiembre, octubre, noviembre y diciembre hay una baja en la producción de energía debido que hay problemas con la calidad de gas en sus componentes del gas el metano ha disminuido su componente.

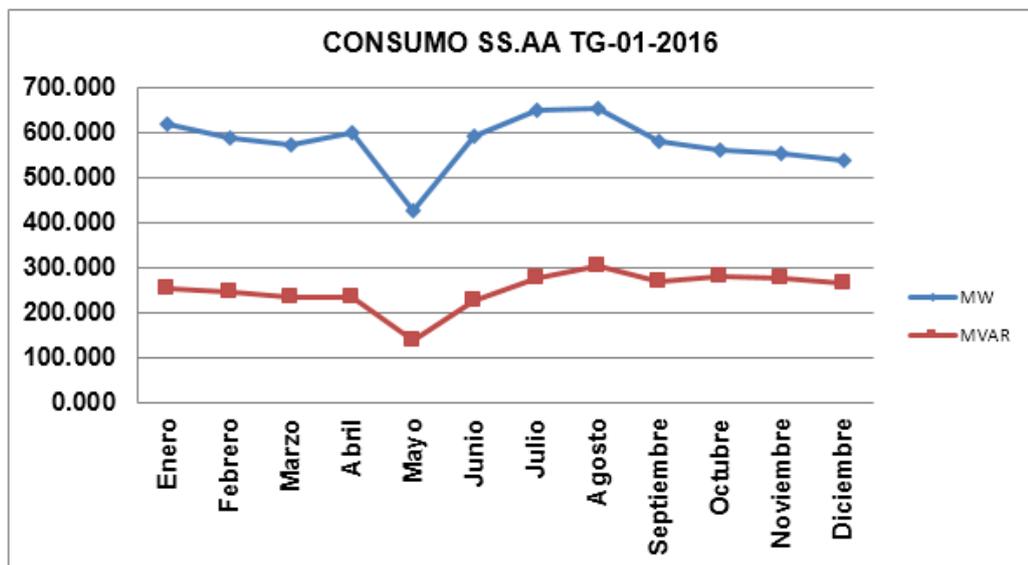
CONSUMO DE ENERGIA DE LOS SERVICIOS AUXILIARES

CUADRO N°3

CONSUMO SS.AA TG-01-2016			
	Energía Activa consumida	Potencia Activa consumida MW	Potencia Reactiva Q1 MVar
Meses	MWH3I	MW	MVAR
Enero	154725.264	618.901	251.877
Febrero	146649.624	586.598	245.998
Marzo	143469.192	573.877	235.537
Abril	149435.016	597.740	234.207
Mayo	106620.888	426.484	139.479
Junio	147891.144	591.565	226.869
Julio	162278.952	649.116	278.523
Agosto	162820.656	651.283	302.104
Septiembre	144829.152	579.317	270.366
Octubre	140073.096	560.292	280.152
Noviembre	138385.968	553.544	277.577
Diciembre	134339.568	537.358	264.381
Consumo	1731.51852	6926.074	3007.070

Fuente: elaboración propia

GRAFICO N°3



Fuente: elaboración propia

En este grafico se aprecia el consumo de energía de los servicios auxiliares de la central térmica Paita. Este consumo es de los equipos como torre de enfriamiento, motores, calentador de gas, compresores de aire etc, de toda la central térmica.

Objetivo Específico N° 2.

Identificar los factores influyentes en la eficiencia energética de la central térmica Paita.

Al finalizar la investigación se concluye que los factores influyentes son:

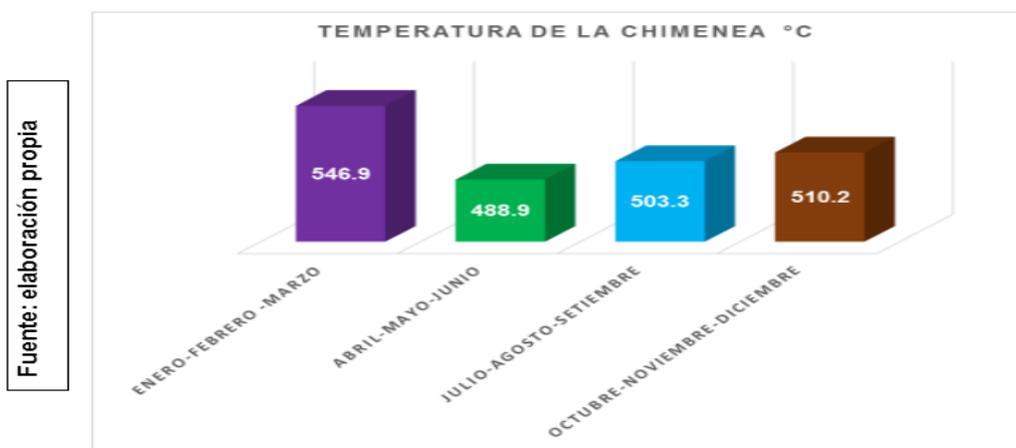
GASES CALIENTES DE LA TURBINA

CUADRO N°4

Fuente: elaboración propia

GASES CALIENTES QUE EMANA LA TURBINA SGT-700 POR LA CHIMENEA	
MES	TEMPERATURA DE LA CHIMENEA EN °C
ENERO-FEBRERO -MARZO	546.9
ABRIL-MAYO-JUNIO	488.9
JULIO-AGOSTO-SE TIEMBRE	503.3
OCTUBRE-NOVIEMBRE-DICIEMBRE	510.2

GRAFICO N°4



CUADRO N° 5

Fuente: elaboración de la empresa

Grupo	Hora	Tiempo de emisión (Hrs/Periodo)	Chimenea		Temp. de chimenea (°C)	Velocidad del gas (m/s)	Flujo del gas (m³/s)	Concentración de emisiones (ug/m³)						
			Altura (m)	Diámetro (m)				Opacidad	Partículas	SO ₂	CO	NO _x	CO ₂ (%)	O ₂ (%)
SIEMENS SGT 700	09:54	24	16	2,20	510,20	13,60	51,67	3	1843,13	323,31	238,45	60,83	4,0	13,00

En este cuadro se aprecia la temperatura de salida de los gases calientes a 510°C que salen por la chimenea de la turbina y que se pierden al medio ambiente. Implementando un sistema ciclo combinado esos gases calientes se pueden recuperar.

CUADRO N° 6

COMPOSICION MOLECULAR EN PORCENTAJES DEL GAS NATURAL			
	Set 2016	oct-16	nov-16
PROPIEDADES	%	%	%
Metano	97.2703	94.8133	91.2276
Etano	1.4749	2.6627	4.6813
Propano	0.5218	0.9926	1.723
Butano	0.1301	0.3098	0.4859
Iso-butano	0.1314	0.2853	0.4695
Pentano	0.0177	0.0538	0.0759
Iso-pentano	0.0377	0.1101	0.1567
Ne-opentano	0.0017	0.0043	0.0071
Exano	0.0042	0.0167	0.0214
Heptano	0.001	0.0058	0.0072
Octano	0.006	0.002	0.0023
Nonano	0.0003	0.0007	0.028
Nitrogeno	0.1293	0.515	0.4088
Dioxido de carb	0.2792	0.228	0.7306
Total	100	100	100

Fuente: central térmica Paita

En este cuadro se aprecia la composición molecular del gas que abastece la central térmica Paita, donde el porcentaje del metano en el mes de setiembre fue 97%, en octubre y noviembre baja porque los pozos que alimentan a la estación de regulación de la empresa (Sechura Oil Gas) que nos vende el gas hay deficiencia de gas, por tal razón hay problemas con la calidad del gas.

CUADRO N° 7

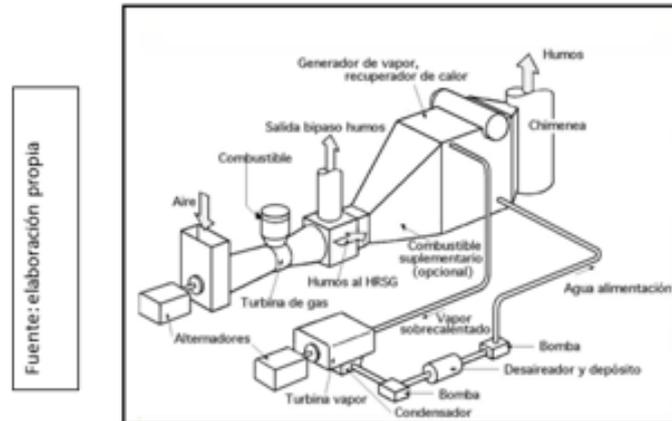
DESCRIPCION	Metano	Etano	Propano
Peso Molecular	16.043	30.070	44.097
Densidad con relación al aire	0.5537	1.0378	1.5219
Poder calorífico superior Kcal/m3	9530	16860	24350
Poder calorífico inferior Kcal/m3	8570	15390	22380
Aire teórico m3 / m3	9.52	16.67	23.81
Límite inferior de inflamabilidad %	5	3	2.2
Límite superior de inflamabilidad %	15	12.5	9.5
Formula	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈

Fuente: (Enrique Borrás Brucart)

Objetivo Específico N° 3.

Diseñar un sistema de ciclo combinado para lograr eficiencia energética en turbina a gas de central térmica de Paita.

Diseño de un sistema ciclo combinado



El ciclo combinado es un sistema que permite generar energía eléctrica y térmica de manera conjunta, aprovechando una fuente primaria. Incorporando diferentes principios entre ellos: la competitividad y la disminución en el consumo del combustible primario por kilovatio generado.

- Para realizar el diseño de un sistema ciclo combinado en la central térmica Paita, se realiza un análisis de los gases de escape de la turbina TG – 01 SIEMENS 700, así como las demandas de energía térmica y eléctrica de la central térmica. El análisis de los gases de la turbina es para establecer la temperatura de salida de los gases calientes, y así poder seleccionar el sistema de ciclo combinado a utilizarse para la obtención de energía térmica.
- Al realizar el diseño del sistema ciclo combinado se ha tomado en cuenta los parámetros técnicos, económicos, tecnológicos y ambientales que rigen en el país. Mediante los resultados obtenidos se establece además de obtener la energía térmica deseada también se eleva la eficiencia de los equipos utilizados.

- Para diseñar un sistema ciclo combinado se requiere un análisis de viabilidad para conocer los factores que involucran a la generación termoeléctrica como: información de las características energéticas del sitio, en donde se planea instalar el sistema de ciclo combinado, incluye los consumos y demandas de la energía térmica, energía eléctrica, los combustibles usados en la planta, los equipos existentes. Es también necesario contar con la información de los precios y costos de los combustibles y de electricidad.
- Se requiere información de las horas de operación de la central térmica, conocer los planes de crecimiento, aplicar los criterios de rentabilidad y las oportunidades de financiamiento así como de las oportunidades de comercialización de los excedentes eléctricos.

Objetivo Específico N° 4.

Estimar los resultados que generará la implantación de un sistema de ciclo combinado en la eficiencia energética en la central térmica Paita.

Eficiencia: habrá un aumento en % de la eficiencia térmica de la central térmica Paita. Debido a la implantación de un sistema ciclo combinado mejorara la eficiencia energética y la producción de generación eléctrica. Se estiman los costos de capital, la tasa interna de retorno, el valor presente neto, la relación costo beneficio y se calcula el periodo de recuperación.

Con un sistema ciclo combinado producirá una energía que será siempre más económica que la obtenida actualmente. La razón de ello está que su consumo específico será siempre inferior al de una planta de energía convencional.

Eficacia: Habrá un aumento en % de rendimiento térmico de la turbina a gas debido al aprovechamiento de la energía calorífica que se inyecta al a turbina de vapor en forma de combustible, como un sistema en sí.

Los parámetros que dan origen al rendimiento son: energía producida (KW), cantidad de combustible (GAL), periodo de tiempo. La relación entre la energía producida durante el periodo de tiempo, y la cantidad de combustible consumido en ese mismo periodo, da como resultado el rendimiento térmico de la turbina a gas (KWh/GAL).

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN.

DIMENSIÓN 01: Eficiencia.

INDICADOR 01.01: Relación costo beneficio.

INDICADOR 01.02: VAN.

INDICADOR 01.03: TIR.

INDICADOR 01.04: Tiempo de recuperación del proyecto

Síntesis del Resultado:

La eficiencia del ciclo superior fue obtenida de los datos de operación actuales de la planta y de la nueva turbina adicionada. La eficiencia resultante obtenida es mayor que la eficiencia actual de la planta. Esto se debe a que la eficiencia de la nueva turbina es superior a la turbina existente aumentando de 30 MW/h hasta 52.1 MW/h.

El flujo de combustible de la turbina adicionada es inferior al de la existente debido a su mayor eficiencia. Los niveles de presión del ciclo inferior se determinaron de tal manera que permitan mayor aprovechamiento de los gases de la turbina de gas y una mayor generación de potencia en la turbina de vapor. El CVT disminuyó en 35.8% con respecto al CVT actual de la planta, es decir, disminuyó en 10.6 US\$/MWh.

La eficiencia del ciclo inferior es la máxima posible, debido a que existe una buena transferencia de calor en el HRSG y por los valores elegidos de presión y flujo de vapor. En el HRSG sus parámetros característicos de Pinch Point son los más bajos posibles permitiendo una alta eficiencia.

La potencia efectiva de la central luego de la conversión a ciclo combinado está por encima de lo previsto en la hipótesis en un 33%. Esto se debe a que los parámetros elegidos para la central fueron los más óptimos posibles.

El Heat Rate en ciclo combinado se redujo en 39.4%, disminuyó en 4.5 MMBTU/MWh. con respecto al de ciclo simple actual. Esto se debe directamente a la eficiencia, es decir, se incrementó la potencia efectiva, no siendo así el consumo de combustible y por ende el precio de generación.

Los parámetros que hemos utilizado para el análisis económico, nos muestran la viabilidad del proyecto

El análisis del periodo de recuperación de la inversión nos da una idea de la rentabilidad del proyecto, sin embargo no es un parámetro determinante, como lo es el VAN, TIR, y análisis Beneficio Costo B/C, ya que estos analizan el flujo de caja neto, en su totalidad.

El análisis económico del proyecto de conversión, nos da como resultado:
VAN= US\$ 246 863 717 (246.8 millones de US\$).

B/C = 1.5

TIR = 29.2%.

Estos parámetros, en conjunto, muestran que el proyecto es viable económicamente. Además se tiene un Periodo de Recuperación de la Inversión en un periodo de menos de 5 años (4.6 años).

En general la implementación del proyecto de sistema ciclo combinado en la central térmica Paita, genera un balance neto costo/beneficio positivo. Los costos (impactos negativos) son superados por los beneficios (impactos positivos), los beneficios se presentarán en la etapa de operación y mantenimiento del proyecto, que se extiende la vida útil del proyecto estimado en 20 años.

Causas.

La pérdida de los gases calientes al medio ambiente que emana la turbina de ciclo simple por la chimenea en la central térmica Paita provoca el calentamiento global. La emisión de contaminantes atmosféricos contaminan la calidad del aire de la zona. El óxido de azufre, nitrógeno y partículas sólidas o líquidas dispersas en la atmósfera.

Consecuencias.

Efectos globales y regionales

Las emisiones de la central termoeléctrica pueden provocar lluvia ácida, especialmente si el combustible es carbón con un alto contenido de azufre. La precipitación ácida acelera el deterioro de los edificios y monumentos; altera,

radicalmente, los ecosistemas acuáticos de ciertos lagos y daña la vegetación de los ecosistemas forestales. Además, el uso de los combustibles fósiles en las plantas termoeléctricas genera CO₂ y NO_x, y el calentamiento mundial ha sido atribuido al aumento de la concentración de CO₂ y NO_x en la atmósfera. Sin embargo, es imposible, actualmente, predecir la contribución exacta de las emisiones específicas de un proyecto termoeléctrico en particular, a estos problemas regionales y globales.

Dentro del daño que estos contaminantes causan, se estima que el 94% corresponde a reducciones en la salud de las personas. El 6% restante de los daños impacta en la agricultura, el deterioro de diferentes materiales, y la visibilidad del aire.

Efectos en la salud humana.

Los efectos que provocan estos Los principales contaminantes emitidos por la central termoeléctrica son los óxidos de azufre, los óxidos de nitrógeno y el material particulado. Los efectos son los siguientes:

- Aumento en la frecuencia de cáncer pulmonar.
- Muertes prematuras.
- Otros síntomas respiratorios severos.
- Agravación del asma y de enfermedades cardiovasculares.
- Irritación de la piel y mucosas.
- Dificultad para respirar.
- Irritación ocular e inflamación de las vías respiratorias.
- Edema pulmonar.
- Alteraciones psíquicas.
- Problemas de asma y bronquitis crónica.

Proyecciones – Propuesta:

- Dar capacitación ambiental para transmitir los conceptos y metodologías de la evaluación de los impactos generales, la recolección y análisis de los datos y las estrategias de control de la contaminación.

- Será necesario entrenar al personal en los procedimientos normales de operación, mantenimiento, salud y seguridad, los mismos que deberán ser implementados por la gerencia, a fin de reducir al mínimo los impactos ambientales de la planta, y sus efectos para la salud y la seguridad, una vez que está funcionando.
- Modernizar con nueva tecnología a la central térmica implementando un sistema ciclo combinado para mejorar la eficiencia energética, y recuperar los gases calientes que se dispersan al medio ambiente evitando la contaminación del ambiente y las enfermedades en la salud humana.

Discusiones

DIMENSIÓN 02: Eficacia.

INDICADOR 01.01: Relación objetivos logrados/objetivos planteados.

INDICADOR 01.02: Posicionamiento de la empresa en el mercado.

INDICADOR 01.03: Nivel de crecimiento de la empresa.

Síntesis del resultado.

Actualmente la central térmica convencional no ha logrado este año 2016 los objetivos de generación eléctrica propuesto debido que la turbina de gas actualmente genera 12 MW/h por el problema de escases de combustible (gas) en la zona, afectando la producción de energía.

Los objetivos planteados es mejorar la producción de energía convirtiendo la turbina de ciclo simple a un sistema ciclo combinado que mejorara la eficiencia energética a 52 % más que la generación actual. Entonces mejorando la producción de energía eléctrica la central térmica Paita se posicionara en un lugar de prestigio en el mercado de generación del Departamento de Piura debido a la gran demanda de energía que existe actualmente.

Causas.

- Perdida de gases calientes que emana la turbina por la chimenea y que se dispersan al medio ambiente.
- Demasiado consumo de combustible
- Falta de combustible (gas) para poder abastecer a la turbina.

Consecuencias.

- La central térmica trabaja a un 40 % de su capacidad de generación.
- Los costos de consumo del combustible (gas) de la turbina son elevados.
- La producción de generación eléctrica es baja.

Proyecciones – Propuesta:

- Implementar un sistema ciclo combinado para mejorar la eficiencia energética recuperando los gases calientes instalando una caldera de recuperación de vapor saturado enviándolo por tuberías a una turbina de vapor generándose la energía.
- Proponer una nueva empresa de gas para que abastezca de gas a la central térmica debido a que la actual empresa Sechura Oíl Gas que abastece actualmente a la central térmica carece de suficiente presión de gas.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES.

1.- Estado actual de la eficiencia energética en la central termia Paita.

El estado actual de la eficiencia energética de la central térmica Paita es de 32% de su eficiencia y lo restante de la eficiencia energética se pierde al medio ambiente y además actualmente el gas que consume la turbina de ciclo simple de la central térmica tiene sus componentes del metano no cumple con los parámetros establecidos para una buena combustión para una buena eficiencia y generación de energía.

2.- Identificar los factores influyentes en la eficiencia energética de la central térmica.

Los factores que influyen en la eficiencia energética de la central térmica es la pérdida de los gases calientes al medio ambiente que salen por la chimenea de la turbina porque es un sistema de ciclo simple y además la calidad de gas que alimenta la turbina se está escaseando debido a que en los pozos de gas de la suministradora cuentan con poco gas. Debido a este problema ya empresa Sechura Oil gas ha tomado la precaución y está perforando otros pozos para poder abastecer la central térmica.

3.- Diseñar un sistema ciclo combinado para mejorar la eficiencia energética

Con el diseño de la central ciclo combinado se mejorara la eficiencia energética de la central térmica del 33% e instalando un ciclo combinado mejorara su eficiencia térmica a 56% más y con una producción de energía de 30 MW a un promedio de 47 MW. Se recuperara los gases calientes que se pierden al medio ambiente y evitara la contaminación del medio ambiente.

4.- Estimar los resultados que generara la implantación de un sistema de ciclo combinado en eficiencia Energética en central térmica de Paita.

En los resultados de la implementación del sistema ciclo combinado los resultados es que en este proyecto, los gastos que se generaran de la inversión se recuperaran en un lapso de 5 años y después de ese tiempo se obtendrá ganancias.

CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES.

- Para un mejor análisis de la influencia de esta conversión en el mercado eléctrico, se sugiere realizar estudios de carga de la red eléctrica interconectada del país, para conocer su influencia técnica económica real.
- Identificar la reducción de los impactos ambientales que ocasionaría esta implementación del ciclo combinado.
- Para un mejor diseño de estas centrales termoeléctricas, se debe determinar la eficiencia, indicadores térmicos y económicos de dicha central termoeléctrica para cada época del año, ya que las condiciones ambientales tienen una gran influencia en el funcionamiento de estos sistemas de producción de energía eléctrica.
- Efectuar el análisis de viabilidad económica del proyecto de conversión a ciclo combinado de la unidad TG- 01, utilizando como ingreso el incremento de potencia de la turbina a vapor calculado en el presente trabajo.
- Elaborar el análisis de costos de la implementación del ciclo combinado.
- Determinar los costos variables de generación de energía eléctrica en modo ciclo combinado.
- Para una determinación más exacta de resultados se debe hacer un análisis en el HRSG, determinando: Perfil de temperaturas, caída de presión y los tipos de transferencia de calor que se dan en el HRSG.
- Para una mejor comprensión de estos sistemas, se recomienda adquirir material bibliográfico especializado, para que los trabajadores tengan conocimiento real de la operación de las centrales de Ciclo Combinado, ya que esta tecnología significa no solo un avance en la eficiencia energética, sino es ambientalmente más aceptable.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CHASE, Richard. JACOBS, Robert y AQUILANO, Nicholas. ADMINISTRACIÓN DE OPERACIONES DE CENTRALES TERMICAS Duodécima, edición. México: Editora Mexicana, 2009. 776 pp.
ISBN: 978-970-10-7027-7
2. DORF, Richard y BISHOP, Robert. Sistema de Control Moderno en turbinas ciclo combinado. Madrid: Universidad de Texas, 2005. 928 pp.
ISBN: 84-205-4401-9
3. PARRA, Francisco. Análisis de la Eficiencia y Productividad. (Diciembre, 2007). [Fecha de consulta: 10 junio de 2016].
Disponible de
<https://econometria.files.wordpress.com/2007/12/analisis-de-eficiencia-y-productividad.pdf>
4. SIEMENS. Catalogo SITRAIN. (Enero, 2015). [Fecha de Consulta: 28 de mayo del 2016].
Disponible de:
https://www.industry.siemens.com/home/aan/es/colombia/sitrain_colombia/Documents/CATALOGO%20SITRAIN%202015_Baja.pdf
5. OJEDA, Carlos. Diseño de un sistema ciclo combinado. /Tesis (Ingeniero Electrónico). Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2012, 59 pp.
6. OPTIMAGRID, Buenas prácticas para el ahorro de energía en la empresa - 2011. 43 pp.
7. BUDYNAS, Richard y NISBETT, Keith. Eficiencia en turbinas a gas de Shigley. 8va ed. México: McGraw-Hill, 2008. 1059 pp.
ISBN: 9701064046

8. LAM, Rosa y HERNÁNDEZ, Porfirio. Los términos: eficiencia, eficacia y efectividad ¿son sinónimos en el área de la salud? Revista Cubana de Hematología, Inmunología y Hemoterapia [en línea]. Agosto 2008, n°24. [Fecha de consulta: 10 de junio de 2016].
Disponibile en
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-02892008000200009
ISSN: 1561-2996
9. NORTON, Robert. Eficiencia energética. 4ta ed. México: Pearson Educación, 2011. 888 pp.
ISBN: 9786073205894.
10. PROKOPENKO, Joseph. Eficiencia energética en ciclos combinados, Manuel práctico primera edición. Ginebra: Oficina Internacional del Trabajo, 1989, 317 pp.
ISBN: 92-2-305901-1
11. GANOA Montes, Miriam. Eficiencia energética en centrales térmicas. Tesis (Ingeniero Mecánico). Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya, Facultad de Ingeniería Mecánica, 2013. 67pp.
12. Mendoza Nalvarte, J, Análisis del diseño termodinámico de centrales eléctricas de ciclo combinado, Tesis profesional para optar el título de Ingeniero Mecánico-Eléctrico, Universidad de Piura, Piura – Perú, (2002).
13. Mendiola A, Aguirre C, Aguilar O, Castillo S, Giglio G, Maldonado W; Proyectos de generación eléctrica en el Perú ¿Centrales hidroeléctricas o centrales térmicas?, Ed. ESAN, (2012). Lima, Perú.
14. GARCIA G., Santiago. Operación y Mantenimiento de Centrales de Ciclo Combinado. Ed. Díaz de Santos. España. 2008. 325 pp.

15. SABUGAL, Santiago – GOMEZ, Valentino. Centrales Térmicas de Ciclo Combinado: Teoría y Proyecto. Ed. Díaz de Santos. España. 2006. 310 pp.
16. COES – SINAC Estadística de Operaciones 2016.Lima-Perú. 2016.
17. MORAN-SHAPIRO. Fundamentos de Termodinámica Técnica. Ed. Reverte. 2ª Edición. España .2005. 870 pp.
18. TORRES BARDALES, C. Metodología de la Investigación Científica. Séptima edición. Lima-Perú. 2000. 376 pp.
19. OSINERGMIN Informe para la publicación de los Precios en Barra para Período mayo 2016 - abril 2016. Informe N° 0078- 2016-GART. Lima-Perú. 2016.
20. TORRES BARDALES, C. Metodología de la Investigación Científica. Séptima edición. Lima-Perú. 2000. 376 pp.

ANEXOS

ANEXOS 1
INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

GUÍA DE OBSERVACIÓN
CENTRAL TERMICA TABLAZO COLÁN.

I- SITUACION A OBSERVAR: Estado de la Eficiencia energética de la central
 Térmica tablazo - colán

II- OBJETIVO: Identificar los factores que influyen en la eficiencia energética.

I. DATOS INFORMATIVOS:

- 1.1. Nombre del observador: MIGUEL ANGEL ALVARADO LOZO
 1.2. Nombre de la empresa: SDE PIURA SAC
 1.3. Dirección de la empresa: CARRETERA PAITA SOLLANA Km 44.5.
 1.4. Ubicación de la empresa:
CP. TABLAZO - COLAN - PAITA
 1.5. Fecha de la Observación: 14-10-2016
 1.6. Hora de la observación: 09:00 a.m.

II. DATOS ESPECÍFICOS:

2.1. Estado de la eficiencia energética:

2.1.1. Producción de energía.

Excelente	
Bueno	
Regular	X
Deficiente	

2.1.2. Calidad del combustible (gas)

Excelente	
bueno	X
Regular	
Deficiente	

2.1.3. Consumo de combustible (gas)

Demasiado	
Regular	
Normal	
Mínimo	X

2.1.4. Consumo de energía eléctrica (equipos)

Demasiado	
Regular	
Normal	X
Mínimo	

2.1.5. Perdida de gases calientes (chimenea de la turbina).

Demasiado	
Regular	X
Normal	
Mínimo	

2.1.6. Contaminación al medio ambiente.

Demasiado	
Regular	
Normal	
Mínimo	X

2.1.7. Estado de sus equipos.

Excelente	
bueno	X
regular	

III. DATOS COMPLEMENTARIOS:

3.1. Su infraestructura y equipos auxiliares de la central térmica es:

Excelente	
bueno	X
regular	

3.2. El funcionamiento de la turbina es:

eficiente	
normal	
Regular	X
Deficiente	

 Sudamericana de
Enegia
Miguel A. Alvarado Loza
Miguel A. Alvarado Loza
OPERADOR DE LA C.T. TABLAZO COLAN
DNI: 4029 6791

GUÍA DE OBSERVACIÓN
CENTRAL TERMICA TABLAZO COLÁN.

I- SITUACION A OBSERVAR: Estado de la Eficiencia energética de la central
Térmica tablazo - colán

II- OBJETIVO: Identificar los factores que influyen en la eficiencia energética.

I. DATOS INFORMATIVOS:

- 1.1. Nombre del observador: MARTIN ORDINO LA PRIETO
- 1.2. Nombre de la empresa: TABLAZO - COLAN
- 1.3. Dirección de la empresa: CARRETERA PAITA - SULLANA KM. 44.5
- 1.4. Ubicación de la empresa:
CENTRO POBLADO - COLAN - PAITA.
- 1.5. Fecha de la Observación: 14-10-2016.
- 1.6. Hora de la observación: 10.30 AM.

II. DATOS ESPECÍFICOS:

2.1. Estado de la eficiencia energética:

2.1.1. Producción de energía.

Excelente	
Bueno	
Regular	<input checked="" type="checkbox"/>
Deficiente	

2.1.2. Calidad del combustible (gas)

Excelente	
bueno	
Regular	<input checked="" type="checkbox"/>
Deficiente	

2.1.3. Consumo de combustible (gas)

Demasiado	<input checked="" type="checkbox"/>
Regular	<input type="checkbox"/>
Normal	<input checked="" type="checkbox"/>
Mínimo	<input type="checkbox"/>

2.1.4. Consumo de energía eléctrica (equipos)

Demasiado	<input type="checkbox"/>
Regular	<input type="checkbox"/>
Normal	<input checked="" type="checkbox"/>
Mínimo	<input type="checkbox"/>

2.1.5. Perdida de gases calientes (chimenea de la turbina).

Demasiado	<input checked="" type="checkbox"/>
Regular	<input type="checkbox"/>
Normal	<input type="checkbox"/>
Mínimo	<input type="checkbox"/>

2.1.6. Contaminación al medio ambiente.

Demasiado	<input type="checkbox"/>
Regular	<input checked="" type="checkbox"/>
Normal	<input type="checkbox"/>
Mínimo	<input type="checkbox"/>

2.1.7. Estado de sus equipos.

Excelente	<input checked="" type="checkbox"/>
bueno	<input type="checkbox"/>
regular	<input type="checkbox"/>

III. DATOS COMPLEMENTARIOS:

3.1. Su infraestructura y equipos auxiliares de la central térmica es:

Excelente	<input checked="" type="checkbox"/>
bueno	<input type="checkbox"/>
regular	<input type="checkbox"/>

3.2. El funcionamiento de la turbina es:

eficiente	<input checked="" type="checkbox"/>
normal	<input type="checkbox"/>
Regular	<input type="checkbox"/>
Deficiente	<input type="checkbox"/>

 Sudeenergía
Martin Ordinola Prieto
OPERADOR

DNI: 44370698

GUÍA DE OBSERVACIÓN
CENTRAL TERMICA TABLAZO COLÁN.

I- SITUACION A OBSERVAR: Estado de la Eficiencia energética de la central
Térmica tablazo - colán

II- OBJETIVO: Identificar los factores que influyen en la eficiencia energética.

I. DATOS INFORMATIVOS:

- 1.1. Nombre del observador: Gustavo Enrique Canmem Miranda
1.2. Nombre de la empresa: Central termica Tablazo - SDE PIURA
1.3. Dirección de la empresa: Carretera Paíta - Sullana S/N.
1.4. Ubicación de la empresa: Pueblo Nuevo Colán - Paíta - Piura - PIURA.
1.5. Fecha de la Observación: 13.10.2016
1.6. Hora de la observación: 13:00 Hrs.

II. DATOS ESPECÍFICOS:

2.1. Estado de la eficiencia energética:

2.1.1. Producción de energía.

Excelente	
Bueno	X
Regular	
Deficiente	

2.1.2. Calidad del combustible (gas)

Excelente	
bueno	
Regular	X
Deficiente	

2.1.3. Consumo de combustible (gas)

Demasiado	
Regular	
Normal	X
Mínimo	

2.1.4. Consumo de energía eléctrica (equipos)

Demasiado	
Regular	
Normal	X
Mínimo	

2.1.5. Perdida de gases calientes (chimenea de

Demasiado	
Regular	X
Normal	
Mínimo	

2.1.6. Contaminación al medio ambiente.

Demasiado	
Regular	
Normal	
Mínimo	X

2.1.7. Estado de sus equipos.

Excelente	
bueno	
regular	X

III. DATOS COMPLEMENTARIOS:

3.1. Su infraestructura y equipos auxiliares de la central térmica es:

Excelente	
bueno	
regular	X

3.2. El funcionamiento de la turbina es:

eficiente	
normal	X
Regular	
Deficiente	

 SDC S.A. S.C.
Gustavo Carmen Miranda
Gustavo Carmen Miranda
OPERADOR DE LA C.T. TABLAZO - COLAN
DNI 45694366

GUÍA DE OBSERVACIÓN
CENTRAL TERMICA TABLAZO COLÁN.

I- SITUACION A OBSERVAR: Estado de la Eficiencia energética de la central
 Térmica tablazo - colán

II- OBJETIVO: Identificar los factores que influyen en la eficiencia energética.

I. DATOS INFORMATIVOS:

- 1.1. Nombre del observador: HUGO RONALD CHERO SOSA.
 1.2. Nombre de la empresa: CENTRAL TERMICA TABLAZO - COLAN SDE.
 1.3. Dirección de la empresa: CARRETERA PAITA - SULLANA ^{KM} 44.5
 1.4. Ubicación de la empresa:

 1.5. Fecha de la Observación: 14-10-2016.
 1.6. Hora de la observación: 08:20 Hrs.

II. DATOS ESPECÍFICOS:

2.1. Estado de la eficiencia energética:

2.1.1. Producción de energía.

Excelente	
Bueno	
Regular	✓
Deficiente	

2.1.2. Calidad del combustible (gas)

Excelente	
bueno	
Regular	✓
Deficiente	

2.1.3. Consumo de combustible (gas)

Demasiado	
Regular	
Normal	✓
Mínimo	

2.1.4. Consumo de energía eléctrica (equipos)

Demasiado	
Regular	
Normal	✓
Mínimo	

2.1.5. Perdida de gases calientes (chimenea de la turbina).

Demasiado	
Regular	✓
Normal	
Mínimo	

2.1.6. Contaminación al medio ambiente.

Demasiado	
Regular	
Normal	✓
Mínimo	

2.1.7. Estado de sus equipos.

Excelente	
bueno	✓
regular	

III. DATOS COMPLEMENTARIOS:

3.1. Su infraestructura y equipos auxiliares de la central térmica es:

Excelente	
bueno	✓
regular	

3.2. El funcionamiento de la turbina es:

eficiente	
normal	✓
Regular	
Deficiente	

 **SDE Puno S.A.C.**
Ronald Chero Sosa
Ronald Chero Sosa
OPERADOR DE LA C.T. TABLAZO - COLAN

DNI 44513981.

GUÍA DE OBSERVACIÓN
CENTRAL TERMICA TABLAZO COLÁN.

I- SITUACION A OBSERVAR: Estado de la Eficiencia energética de la central
 Térmica tablazo - colán

II- OBJETIVO: Identificar los factores que influyen en la eficiencia energética.

I. DATOS INFORMATIVOS:

- 1.1. Nombre del observador: ROBERTO MONTENEGRO TRONCOS.
 1.2. Nombre de la empresa: CENTRAL TERMICA TABLAZO - COLAN.
 1.3. Dirección de la empresa: CARRETERA PAITA - SULLANA KM. 44.5
 1.4. Ubicación de la empresa:
COLAN - PAITA
 1.5. Fecha de la Observación: 14-10-2016.
 1.6. Hora de la observación: 08:14 hrs.

II. DATOS ESPECÍFICOS:

2.1. Estado de la eficiencia energética:

2.1.1. Producción de energía.

Excelente	
Bueno	
Regular	φ
Deficiente	

2.1.2. Calidad del combustible (gas)

Excelente	
bueno	
Regular	φ
Deficiente	

2.1.3. Consumo de combustible (gas)

Demasiado	
Regular	
Normal	✓
Mínimo	

2.1.4. Consumo de energía eléctrica (equipos)

Demasiado	
Regular	
Normal	✓
Mínimo	

2.1.5. Perdida de gases calientes (chimenea de la turbina).

Demasiado	
Regular	✓
Normal	
Mínimo	

2.1.6. Contaminación al medio ambiente.

Demasiado	
Regular	
Normal	✓
Mínimo	

2.1.7. Estado de sus equipos.

Excelente	
bueno	✓
regular	

III. DATOS COMPLEMENTARIOS:

3.1. Su infraestructura y equipos auxiliares de la central térmica es:

Excelente	
bueno	✓
regular	

3.2. El funcionamiento de la turbina es:

eficiente	✓
normal	
Regular	
Deficiente	



GUÍA DE OBSERVACIÓN
CENTRAL TERMICA TABLAZO COLÁN.

I- SITUACION A OBSERVAR: Estado de la Eficiencia energética de la central
Térmica tablazo - colán

II- OBJETIVO: Identificar los factores que influyen en la eficiencia energética.

I. DATOS INFORMATIVOS:

- 1.1. Nombre del observador: Clener Inga Morales
- 1.2. Nombre de la empresa: Central Termica Tablazo-Colan (SOE)
- 1.3. Dirección de la empresa: Carretera Paita - Sullana. SN.
- 1.4. Ubicación de la empresa:
Pueblo Nuevo - Colan - Paita - Piura.
- 1.5. Fecha de la Observación: 13-10-2016
- 1.6. Hora de la observación: 15:25 h

II. DATOS ESPECÍFICOS:

2.1. Estado de la eficiencia energética:

2.1.1. Producción de energía.

Excelente	
Bueno	
Regular	
Deficiente	X

2.1.2. Calidad del combustible (gas)

Excelente	
bueno	
Regular	
Deficiente	X

2.1.3. Consumo de combustible (gas)

Demasiado	
Regular	
Normal	X
Mínimo	

2.1.4. Consumo de energía eléctrica (equipos)

Demasiado	
Regular	
Normal	X
Mínimo	

2.1.5. Perdida de gases calientes (chimenea de la turbina).

Demasiado	
Regular	
Normal	X
Mínimo	

2.1.6. Contaminación al medio ambiente.

Demasiado	
Regular	
Normal	
Mínimo	X

2.1.7. Estado de sus equipos.

Excelente	
bueno	X
regular	

III. DATOS COMPLEMENTARIOS:

3.1. Su infraestructura y equipos auxiliares de la central térmica es:

Excelente	
bueno	X
regular	

3.2. El funcionamiento de la turbina es:

eficiente	X
normal	
Regular	
Deficiente	


sde vta s.a.s.
Clener Inga Morales
Operador
13-10-2016
DNI : 40457931

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

“PROPUESTA DE UN SISTEMA CICLO COMBINADO PARA MEJORAR EFICIENCIA ENERGETICA EN CENTRAL TERMICA DE PAITA”

ENTREVISTA

A. Nombre del entrevistado: *CLEVER INCA Morales*

B. Dirección: *26 de octubre - 1050 Píura*

C. ¿Cuál es su ocupación?

Operador de campo de turbina

D. Tiempo de servicio: *2 años*

E. Edad: *33 años*

F. Sexo:

Masculino

Femenino

G. Fecha de la entrevista *07/10/2016* Duración *13 minutos*

1.- ¿Cuál es la ventaja de un sistema ciclo combinado?

es mejor eficiencia energética, ahorro de combustible y cuidado del medio ambiente.

2.- ¿Considera que con el sistema ciclo combinado se cuidara al medio

Ambiente?

Sí, porque no contaminaría con los gases de escape que emana la turbina de ciclo simple.

3.- ¿Cuál es el porcentaje promedio de los gases de escape que se pierden al medio ambiente en la turbina de ciclo simple?

es un promedio de 55% de la eficiencia energética que se pierde.

4.- ¿Qué opina de la eficiencia energética?

es el mejoramiento de los equipos por buen funcionamiento y mejor producción de energía.

5.- ¿Considera que mejorando la eficiencia energética se obtendrá beneficios para la empresa?

Sí, mejores ingresos económicos para el empresario y aumento de sueldo al trabajador.



Cíenar Inga Morales
Cíenar Inga Morales
OPERADOR
D.N.I = 40457931

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

“PROPUESTA DE UN SISTEMA CICLO COMBINADO PARA MEJORAR EFICIENCIA ENERGETICA EN CENTRAL TERMICA DE PAITA”

ENTREVISTA

A. Nombre del entrevistado: *RICHARD GRAU CHAVEZ*

B. Dirección: *AV. GRAU 350 - PIVRA*

C. ¿Cuál es su ocupación?

*INGENIERO INDUSTRIAL
JEFE DE SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE*

D. Tiempo de servicio: *5 AÑOS*

E. Edad: *40 AÑOS*

F. Sexo:

Masculino

Femenino

G. Fecha de la entrevista *07 / 10 / 2016 /* Duración *10 minutos*

1.- ¿Cuál es la ventaja de un sistema ciclo combinado?

- MEJORAN LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA CENTRAL TÉRMICA
- AHORRO DE COMBUSTIBLE.
- CUIDAR EL MEDIO AMBIENTE.

2.- ¿Considera que con el sistema ciclo combinado se cuidara al medio

Ambiente?

SI, PORQUE EVITARÍA EL CALENTAMIENTO GLOBAL.

3.- ¿Cuál es el porcentaje promedio de los gases de escape que se pierden al

medio ambiente en la turbina de ciclo simple?

EL PORCENTAJE QUE SE PIERDEN DE LOS GASES DE ESCAPE ES EL 52 O/O. DE LA EFICIENCIA.

4.- ¿Qué opina de la eficiencia energética?

ES RECUPERAR GASES CALIENTES QUE EMANA LA TURBINA DE CICLO SIMPLE Y AUMENTARÍA LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA

5.- ¿Considera que mejorando la eficiencia energética se obtendrá beneficios para la empresa?

SI, AHORRO DE COMBUSTIBLE, AUMENTO DE PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA, MEJOR INGRESO ECONOMICO

Richard Grau Chavez.
D.N.I: 17616628.

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

“PROPUESTA DE UN SISTEMA CICLO COMBINADO PARA MEJORAR EFICIENCIA ENERGETICA EN CENTRAL TERMICA DE PAITA”

ENTREVISTA

A. Nombre del entrevistado: *Gustavo Carmen Miranda*

B. Dirección: *av. Sanchez Cerro - 110 - Piura*

C. ¿Cuál es su ocupación?

Operador sala de control

D. Tiempo de servicio: *3 años*

E. Edad:

F. Sexo:

Masculino

Femenino

G. Fecha de la entrevista *07 / 10 / 2016* Duración *12:00 minutos*

1.- ¿Cuál es la ventaja de un sistema ciclo combinado?

- es el ahorro de combustible.
- mejor la eficiencia energética de la planta
- recupera los gases calientes que se expanden al medio ambiente

2.- ¿Considera que con el sistema ciclo combinado se cuidara al medio

Ambiente?

Si, cuida al medio ambiente previniendo los escape de gases que ocasiona en la piel a los pobladores.

3.- ¿Cuál es el porcentaje promedio de los gases de escape que se pierden al

medio ambiente en la turbina de ciclo simple?

el porcentaje promedio es 518°C . y un porcentaje de 50% de perdida de la eficiencia energética.

4.- ¿Qué opina de la eficiencia energética?

es el aumento de la producción energética de una central térmica.

5.- ¿Considera que mejorando la eficiencia energética se obtendrá beneficios para la empresa?

propuesto fue si

Castallo Carmen Amanda

D.N.I = 45694366

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

"PROPUESTA DE UN SISTEMA CICLO COMBINADO PARA MEJORAR EFICIENCIA ENERGÉTICA EN CENTRAL TÉRMICA DE PAITA"

ENTREVISTA

A. Nombre del entrevistado: *ROBERTO MONTENEGRO TRONCOS.*

B. Dirección: *LAS CAPULLANAS 210 - PIURA.*

C. ¿Cuál es su ocupación?

OPERADOR SALA DE CONTROL.

D. Tiempo de servicio: *5 AÑOS*

E. Edad: *32 AÑOS*

F. Sexo:

Masculino

Femenino

G. Fecha de la entrevista *02 / 10 / 2016* Duración *10 minutos*

1.- ¿Cuál es la ventaja de un sistema ciclo combinado?

- es el aumento de producción de energía eléctrica.
- cuidar el medio ambiente.
- mejor ambiente de trabajo al trabajador.

2.- ¿Considera que con el sistema ciclo combinado se cuidara al medio

Ambiente?

Si, porque evitaría la contaminación del ambiente y menos enfermedades para los pobladores de cada

3.- ¿Cuál es el porcentaje promedio de los gases de escape que se pierden al

medio ambiente en la turbina de ciclo simple?

es un promedio de 520°C y un porcentaje del 55%.

4.- ¿Qué opina de la eficiencia energética?

es el mejoramiento de la producción de energía y ahorro de menos combustible.

5.- ¿Considera que mejorando la eficiencia energética se obtendrá beneficios para la empresa?

Si, porque el empresario tendría mejores ganancias y algún beneficio para el trabajador.

Roberto Montenegro Troncos
D.N.I = 41616581

PROYECTO DE INVESTIGACION

"PROPUESTA DE UN SISTEMA CICLO COMBINADO PARA MEJORAR EFICIENCIA ENERGETICA EN CENTRAL TERMICA DE PAITA"

ENTREVISTA

A. Nombre del entrevistado: *Miguel Alvarado Lazo*

B. Dirección: *Miraflores .225 - Piura .*

C. ¿Cuál es su ocupación?

Ingeniero Mecánico Electrico.

D. Tiempo de servicio: *5 años*

E. Edad: *31 años*

F. Sexo:

Masculino

Femenino

G. Fecha de la entrevista *07 / 10 / 2016.* Duración *14 minutos*

1.- ¿Cuál es la ventaja de un sistema ciclo combinado?

mejorar la eficiencia energética en la Central Térmica.

2.- ¿Considera que con el sistema ciclo combinado se cuidara al medio

Ambiente?

proporcionando el sistema ciclo combinado evitamos el calentamiento global.

3.- ¿Cuál es el porcentaje promedio de los gases de escape que se pierden al medio ambiente en la turbina de ciclo simple?

es de 50%.

4.- ¿Qué opina de la eficiencia energética?

es beneficioso porque mejora el buen funcionamiento de los equipos y mejor producción.

5.- ¿Considera que mejorando la eficiencia energética se obtendrá beneficios para la empresa?

por supuesto que sí, ganancias para el empresario y beneficios para los trabajadores.

Miguel Alvarado Lazo
D.N.I=40296791

ANEXO 2

FICHA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

FICHA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

DATOS GENERALES DEL EXPERTO.

- Apellidos y Nombres:

CELADA PADILLA JAMES SKINNER

- Profesión: INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

- Grado académico: MAESTRÍA EN INGENIERÍA MECÁNICA ELECT

- Actividad laboral actual:

Estimado(a) experto(a):

El instrumento de recolección de datos a validar es un Cuestionario, cuyo objetivo es “Proponer un sistema de ciclo combinado para mejorar eficiencia energética en central térmica Sudamericana de Energía Piura S.A.C “ .

Con el objetivo de corroborar la validación del instrumento de recolección de datos, por favor le pedimos responda a las siguientes interrogantes:

1. ¿Considera pertinente la aplicación de este cuestionario para los fines establecidos en la investigación?

Es pertinente: Poco pertinente: No es pertinente:

Por favor, indique las razones:

conocimiento del problema

2. ¿Considera que el cuestionario formula las preguntas suficientes para los fines establecidos en la investigación?

Son suficientes: Insuficientes:

Por favor, indique las razones:

Conocer la Infraestructura de la empresa Sudamericana de energía Piura Sac.

3. ¿Considera que las preguntas están adecuadamente formuladas de manera tal que el entrevistado no tenga dudas en la elección y/o redacción de sus respuestas?

Son adecuadas: Poco adecuadas: Inadecuadas:

Por favor, indique las razones:

Utiliza un lenguaje claro y adecuado.

4. Califique los items según un criterio de precisión y relevancia para el objetivo del instrumento de recolección de datos.

Item	Precisión			Relevancia			Sugerencias
	Muy precisa	Poco precisa	No es precisa	Muy relevante	Poco Relevante	Irrelevante	
	✓				✓		
		✓		✓			
	✓			✓			
	✓				✓		

5. ¿Qué sugerencias haría ud para mejorar el instrumento de recolección de datos?

*Recopilar Información de los Sistemas.
ciclos combinados y la eficiencia
energética*

Le agradecemos por su colaboración.

Fecha de evaluación:


 Ing° Mec. James Skinner Celada Pa
 INGENIERO MECANICO ELECTRIC
 CIP. 73065

Firma del Experto

INDICACIONES AL EXPERTO.

En la tabla siguiente, se propone una escala del 1 al 5, que va en orden ascendente del desconocimiento al conocimiento profundo. Marque con una "X" conforme considere su conocimiento sobre el tema de la tesis evaluada.

1 Ninguno	2 Poco	3 Regular	4 Alto	5 Muy alto
--------------	-----------	--------------	-----------	---------------

1. Sírvase marcar con una "X" las fuentes que considere han influenciado en su conocimiento sobre el tema, en un grado alto, medio o bajo.

FUENTES DE ARGUMENTACIÓN	GRADO DE INFLUENCIA DE CADA UNA DE LAS FUENTES EN SUS CRITERIOS		
	A (ALTO)	M (MEDIO)	B (BAJO)
a) Análisis teóricos realizados. (AT)	✓		
b) Experiencia como profesional. (EP)		✓	
c) Trabajos estudiados de autores nacionales. (AN)	✓		
d) Trabajos estudiados de autores extranjeros. (AE)		✓	
e) Conocimientos personales sobre el estado del problema de investigación. (CP)	✓		


Ing. Med. José Sagner Celada Padilla
INGENIERO MÉDICO ELECTRICISTA
C.I.P. 73065

Firma del entrevistado

FICHA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

DATOS GENERALES DEL EXPERTO.

- Apellidos y Nombres:

Reyes Tassara Pedro Demetrio

- Profesión: Ingeniería Mecánica Eléctrica

- Grado académico: Magister en Ingeniería Mecánica A

- Actividad laboral actual:

Docente Universitaria

Estimado(a) experto(a):

El instrumento de recolección de datos a validar es un Cuestionario, cuyo objetivo es “Proponer un sistema de ciclo combinado para mejorar eficiencia energética en central térmica Sudamericana de Energía Piura S.A.C “ .

Con el objetivo de corroborar la validación del instrumento de recolección de datos, por favor le pedimos responda a las siguientes interrogantes:

1. ¿Considera pertinente la aplicación de este cuestionario para los fines establecidos en la investigación?

Es pertinente: Poco pertinente: ___ No es pertinente: ___

Por favor, indique las razones:

Conocimiento de la realidad problemática.

2. ¿Considera que el cuestionario formula las preguntas suficientes para los fines establecidos en la investigación?

Son suficientes: Insuficientes: ___

Por favor, indique las razones:

conocer la eficiencia energética actual de la empresa sudamericana de energía

3. ¿Considera que las preguntas están adecuadamente formuladas de manera tal que el entrevistado no tenga dudas en la elección y/o redacción de sus respuestas?

Son adecuadas: Poco adecuadas: ___ Inadecuadas: ___

Por favor, indique las razones:

utiliza un lenguaje adecuado.

4. Califique los ítems según un criterio de precisión y relevancia para el objetivo del instrumento de recolección de datos.

Item	Precisión			Relevancia			Sugerencias
	Muy precisa	Poco precisa	No es precisa	Muy relevante	Poco Relevante	Irrelevante	
	✓			✓			
	✓	✓	✓				
	✓		✓				
	✓			✓			

5. ¿Qué sugerencias haría ud para mejorar el instrumento de recolección de datos?

Recopilar información evolutiva de los sistemas c/los cambiados.

Le agradecemos por su colaboración.

Fecha de evaluación:

Firma del Experto

INDICACIONES AL EXPERTO.

En la tabla siguiente, se propone una escala del 1 al 5, que va en orden ascendente del desconocimiento al conocimiento profundo. Marque con una "X" conforme considere su conocimiento sobre el tema de la tesis evaluada.

1 Ninguno	2 Poco	3 Regular	4 Alto	5 Muy alto
--------------	-----------	--------------	-----------	---------------

1. Sírvase marcar con una "X" las fuentes que considere han influenciado en su conocimiento sobre el tema, en un grado alto, medio o bajo.

FUENTES DE ARGUMENTACIÓN	GRADO DE INFLUENCIA DE CADA UNA DE LAS FUENTES EN SUS CRITERIOS		
	A (ALTO)	M (MEDIO)	B (BAJO)
a) Análisis teóricos realizados. (AT)		✓	
b) Experiencia como profesional. (EP)		✓	
c) Trabajos estudiados de autores nacionales. (AN)	✓		
d) Trabajos estudiados de autores extranjeros. (AE)		✓	
e) Conocimientos personales sobre el estado del problema de investigación. (CP)	✓		



Firma del entrevistado
 Pedro Leonardo Reyes Jasso
 INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA
 REG. CIP. N° 89259

ANEXO 3
PAPER

Metodología para Estudiar la Factibilidad de Cogeneración Eléctrica en Turbinas a Gas

Methodology for the Feasibility Study of Electrical Cogeneration in Gas Turbine

J. A. Ysasis¹, M.R. Mokey Castellanos²

¹ Proyectos Mayores, PDVSA, Maturín, Venezuela, ysasis@gmail.com

² Electroenergética, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba, dm@uo.edu.cu

Abstract— In the Bolivarian Republic of Venezuela, there is lots of gas, for this reason the petroleum industry has many turbo compressors installed to increase the pressure of the natural gas in different processes, just as there are many electric generators and other equipment of great size; of which many are driven by gas turbines. These gas turbines emit residual fuels to the environment with potential energy that can be exploited by cogeneration processes for the electric system, between different forms of exploitation. The problem of this investigation is the wastage of the residual thermal energy in the combustion gas turbines that could be used in the generation of electrical energy. The objective of the investigation is to develop a methodology for the feasibility study that allows the use in electric power, the residual gas of gas turbines. The study includes the delivery of electricity to the National Electricity System and the self-supply of electricity to the compressor plant. This methodology should be applied in any gas turbine of the world and consists of a series of easy steps development.

Keywords—Residual energy, gas turbine, electric cogeneration.

1 INTRODUCCIÓN

Las turbinas a gas emiten al ambiente energía térmica residual, la cual puede ser aprovechada mediante procesos de cogeneración para el sistema eléctrico, entre diferentes formas de aprovechamiento, como se muestra en la figura 1.

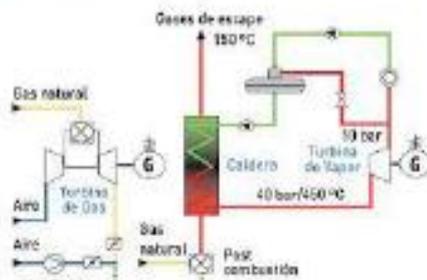


Figura 1 Proceso de cogeneración

La eficiencia térmica de estas turbinas está entre 28-38%, ver figura 2, aproximadamente [1], por lo que más del sesenta por ciento de la energía térmica es enviada al ambiente como gas residual, el cual es desaprovechado completamente y constituye una emisión de carga contaminante hacia el medio ambiente.

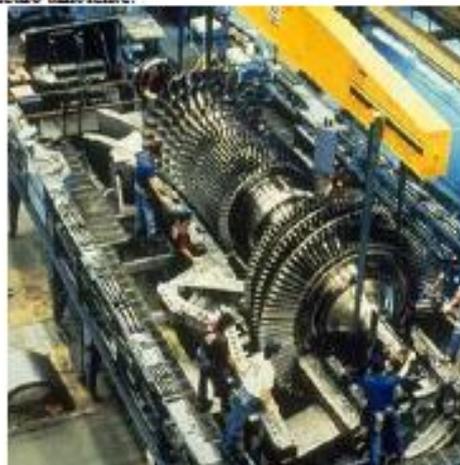


Figura 2 Turbinas a gas.

Por lo tanto, esto lleva a considerar que el problema de esta investigación es el desaprovechamiento de la Energía Térmica Residual (ETR) de turbinas a gas.

El objetivo de la investigación es la elaboración de una metodología para el estudio de factibilidad que permita el aprovechamiento en energía eléctrica, del gas residual de las turbinas a gas, aprovechando la energía térmica residual de la operación del sistema. El estudio incluye la entrega de energía eléctrica al Sistema Eléctrico Nacional (SEN) y el autoabastecimiento de energía eléctrica a la planta donde funciona la turbina a gas.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Durante la concepción de una instalación de cogeneración, el diseño del ciclo deberá fijarse a partir de un gran número de posibilidades. La metodología consiste en determinar la factibilidad técnica y económica, en todos los casos en elegir la mejor opción del proceso, lo que no siempre implica sin embargo el rendimiento máximo posible. Para alcanzar este objetivo, se debe analizar exactamente la influencia de cada aspecto de la concepción de los ciclos sobre la decisión de inversión. De esta manera, se evita el suministro de una instalación demasiado compleja y demasiado costosa que no aportaría beneficios razonables sobre la inversión del cliente o usuario [10].

A. Diseño y control de proceso

A los efectos de esta metodología, el proceso de cogeneración, se dividirá en los siguientes subprocesos:

1. Generador de Energía Térmica Residual-Turbina de Gas.
2. Generador de Vapor por recuperación- Intercambidor de Calor.
3. Generador de Potencia Mecánica-Turbina de Vapor y condensador.
4. Generador de Potencia Eléctrica- Turbogenerador eléctrico.
5. Subestación Eléctrica.
6. Línea de enlace con el Sistema Eléctrico.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Este trabajo de investigación, dio como resultado una metodología para el Estudio de Factibilidad de Cogeneración Eléctrica, aprovechando la energía térmica residual de la combustión de turbinas a gas, propuesta para implementarla en las Plantas de Inyección de Gas a Alta Presión (PIGAP) del estado de Monagas, República Bolivariana de Venezuela.

La metodología tendrá los siguientes pasos:

1. Determinar las características técnicas de las Turbinas.

Se identifica la ubicación geográfica de la Planta, sus condiciones ambientales, sus características de trabajo y producción, la cantidad y características de los trenes de compresión, particularidades del gas natural, características de la energía térmica residual, presión, temperatura y demás parámetros así como cantidad y características de las turbinas a gas, entre otros aspectos. Luego seguir con el paso 2.

2. Evaluación de la capacidad de cogeneración eléctrica.

Esta etapa de la metodología consiste en revisar las características técnicas de las turbinas a gas, según [11]. Para un sistema de cogeneración, la turbina a gas tiene

una potencia (PTG) del orden del doble de la potencia de la turbina de vapor (PTV), por lo que matemáticamente se tiene:

$$PTG = 2 \cdot PTV \quad (1)$$

En los generadores eléctricos la energía mecánica se convierte en electricidad con un rendimiento de hasta el 99 %, en los grandes generadores. Para la mayoría de los generadores eléctricos comerciales, su rendimiento puede ser mayor al 95 %, por lo que matemáticamente se tiene:

$$PGE = k \cdot PTV \quad (2)$$

Donde $0,95 < k < 0,99$ dependiendo del fabricante del generador eléctrico. De esta relación se obtiene la capacidad máxima de potencia eléctrica en kW por cogeneración. Luego seguir con el paso 3.

3. Evaluar la demanda eléctrica de la planta y capacidad de cogeneración

En esta parte de la metodología se requiere saber la capacidad de generación eléctrica por cogeneración obtenida en el punto anterior así como, demanda eléctrica de la planta donde está ubicada la o las turbinas a gas y demanda de la nueva planta de cogeneración eléctrica (PPC), para determinar la factibilidad de autoabastecimiento y posible entrega de energía eléctrica al SEN.

$$P_{tot} = P_{turb} + P_{cog} \quad (3)$$

Después se comparará la capacidad de generación eléctrica por cogeneración (P_{COG}) con la demanda requerida por la planta (P_{TOT}); se obtienen los siguientes casos:

Caso 1: Si $P_{COG} = P_{TOT}$, entonces la planta de cogeneración solo podrá alimentar a la planta y se pasará al paso 5, evaluar el espacio físico para la implantación.

Caso 2: Si $P_{COG} > P_{TOT}$, entonces será posible entregar energía al SEN y es factible continuar con la metodología y pasar al paso 4 para evaluar la capacidad del SEN para recibir el excedente de la cogeneración eléctrica.

Caso 3: Si $P_{COG} < P_{TOT}$ se evaluarán las siguientes opciones:

1. Alimentar eléctricamente la planta parcialmente según la disponibilidad de la cogeneración y continuar con el paso 5.
2. Evaluar gas complementario para un quemador que incremente la cantidad vapor y continuar con el paso 5.

Nota: en cualquiera de los casos para tener mayor cantidad de energía eléctrica se puede incluir gas complementario para un quemador que incremente la cantidad de vapor. El calor agregado resulta de la combustión de gas natural u otro combustible fósil. Donde el aporte térmico de los gases de escape debe ser el más importan-

te para no desconceptualizar la filosofía de la cogeneración.

4. Evaluar la capacidad del enlace con el SEN.

Con apoyo en la información técnica, visita de campo y reuniones con el equipo técnico del sistema eléctrico, se evalúa el sistema eléctrico de la zona, se revisan opciones de interconexión eléctrica y con el uso del programa de computación ETAP, o aplicaciones del MATLAB, u otro simulador de sistemas eléctricos, se procede a hacer simulaciones de flujo de carga, estudio de cortocircuitos y otros para verificar que se pueda incorporar la energía eléctrica de la cogeneración al SEN.

Se evalúa flujo de carga, cortocircuito, facilidad de interconexión y de ser factible, se continúa con el paso 5 (evaluar el espacio físico para la implantación), de no ser factible, evaluar si es rentable hacer la inversión solo para alimentar la planta compradora.

5. Evaluar el espacio físico para la implantación.

El siguiente paso es evaluar que se cuenta con el espacio físico necesario para construir la Planta de cogeneración. Según [12] el espacio ocupado por una planta de ciclo combinado para 400 MW es un área de 30 000 m², por lo que se puede tomar como referencia un índice de espacio físico requerido de 75 m²/MW como primera referencia. Este índice corresponde para ciclo combinado, por lo que para el caso de esta investigación (cogeneración ciclo de cola), se considera dentro de este índice las turbinas de gas que corresponden a instalaciones existentes, por eso, luego hay que restarle el espacio ocupado por dichas turbinas a gas para obtener el espacio requerido para construir la planta de cogeneración eléctrica.

En caso de disponer de espacio físico cerca de los turbo-compresores para la construcción de esta planta, pasar al paso siguiente epígrafe 6, para caracterización de los fluidos, evaluación de ciclos y fluidos del proceso para el generador de vapor. Puede darse el caso que el tamaño del espacio físico disponible sea una restricción en la capacidad de generación eléctrica, por lo que este espacio pudiera determinar la capacidad de generación eléctrica máxima.

En caso de no contar con espacio cerca de los turbo-compresores para la construcción de esta planta, el proyecto no es factible por indisponibilidad de espacio.

6. Caracterización de los fluidos, evaluación de ciclos y fluidos del proceso para el generador de vapor.

Es importante señalar, que aunque generalmente la cogeneración se obtiene con el ciclo Rankine agua, actualmente hay diferentes ciclos [13]. El fluido motor empleado suele ser agua desmineralizada, fundamentalmente por su facilidad de manejo, reposición y abundancia, aunque conceptualmente no es el único y podrían emplearse otros fluidos tales como mercurio, potasio, amoníaco o fluidos orgánicos [13]. Un ciclo Rankine con mercurio o potasio podrá operar a mayores temperaturas sin requerir presiones tan

elevadas. Comparando fluidos de trabajo, un ciclo Rankine con agua alcanza temperatura de salida inferiores que uno operando con mercurio. Si, en cambio, el fluido utilizado es amoníaco, la temperatura de salida podrá ser menor que si se emplea agua. Se combinan ciclos y fluidos de trabajo para lograr altas temperaturas de entrada y bajas temperaturas de salida, resultando elevados rendimientos termodinámicos. Algunos de los procesos según [11] son:

- Rankine_{mercurio} + Rankine_{agua}
- Rankine_{potasio} + Rankine_{agua}
- Rankine_{agua} + Rankine_{amoníaco}
- Brayton_{aire}(TG) + Rankine_{agua} (TV), con varias alternativas.
- Acoplamiento serie paralelo de los ciclos Brayton y Rankine.
- Ciclos Brayton y Rankine operando a 1, 2 o 3 presiones, con acoplamiento básico interno.

Las plantas de ciclo combinado TG + TV son los ciclos más desarrollados al presente, siendo la mejor alternativa técnico-económica para la elección de una central térmica convencional.

En este trabajo se recomienda ciclos Brayton aire y Rankine agua, por lo que se debe seleccionar una de las tres últimas opciones, en el paso de prediseño punto 10.

7. Disponibilidad de agua de proceso

En base al tamaño de la planta de cogeneración (paso 1) se estima la cantidad de agua requerida por el proceso, luego se evalúa la disponibilidad de agua de proceso en la zona. El agua es la restricción más importante para definir el tipo de fluido a utilizar en el proceso, si hay agua en la zona lo más razonable y seguro es el uso de este vital líquido.

Por lo que se evalúa calidad y cantidad de agua de ríos y mares cercanos, y de no ser factible, se solicita al organismo especializado de la zona en geología un estudio para evaluar la cantidad y calidad de agua subterránea.

En caso de ser positivos los resultados de esta etapa, implica que también se tiene agua para enfriamiento y se procede a pasar al paso 8.

En caso de no haber agua para proceso hay que evaluar los tres primeros fluidos de proceso descritos en el punto 6 y esto requiere del apoyo de empresas especializadas.

8. Caracterización de los fluidos de enfriamiento por aire o agua

El fluido de enfriamiento por aire o agua se define dependiendo de las características de la zona. La concepción del sistema de enfriamiento depende de la disponibilidad de agua de enfriamiento. Cuando se disponga de grandes cantidades a un precio ventajoso, a menudo agua de mar, de un río o del agua subterránea, se instala un sistema de enfriamiento directo. Cuando el agua sea escasa o costosa, se deberá eventualmente reducir el consumo de agua, utilizando un sistema de

enfriamiento indirecto con una torre de enfriamiento, [10].

La factibilidad de agua en el punto anterior 7, implica que es factible el enfriamiento por agua. De lo contrario, es factible el enfriamiento por aire, en cualquiera de los casos se procede a pasar al paso 9.

9. Alternativas de configuración para cogeneración

Una vez definido la capacidad máxima de cogeneración es preciso definir la configuración a utilizar en cuanto al número de unidades generadoras. Se plantean diferentes configuraciones variando el número de turbinas de gas y la cantidad de fuego suplementario. En todas las alternativas presentes se recurre al uso de generadores de vapor de recuperación de calor con uno, dos o tres domos de presión, esto hace que se tenga una mayor eficiencia en la transferencia de calor.

La cantidad y capacidad de los generadores a instalar básicamente está definida por la necesidad de una operación con una alta confiabilidad y estabilidad del servicio eléctrico.

10. Prediseño y evaluación de cogeneración

Si del análisis de los pasos anteriores se considera factible, se continuará con el presente estudio, para ello se recomienda dividir el proceso de prediseño de la cogeneración en los subprocesos definidos.

Y se realiza un prediseño de cada uno de los procesos y subprocesos, apoyándose en cálculos matemáticos, tablas y simulación de procesos con cualquiera de los siguientes programas HYSYS, ASPEN PLUS, CHEMCAD, ProModel, DESIGN II, PRO II/PROVISION y/o MATLAB para simular los procesos termodinámicos de una planta de cogeneración, así como el ETAP y/o MATLAB para el comportamiento del SEN al conectar la cogeneración de electricidad propuesta en este trabajo, estudio de flujo de cargas, estudio de cortocircuitos, otros.

En este último paso, donde se obtiene un prediseño del sistema, se obtiene el resultado final sobre la factibilidad y características técnicas del sistema de cogeneración eléctrica propuesta.

IV. CONCLUSIONES

Se propone una metodología que permite el estudio de factibilidad de cogeneración eléctrica en una Planta de Inyección de Gas Alta Presión en yacimientos petroleros, mediante una serie de pasos fáciles de entender, pero que requiere el apoyo de un equipo multidisciplinario en las áreas técnicas y de ingeniería de Mecánica, Electricidad, Procesos de gas, Química, Instrumentación y Obras Cíviles.

Esta metodología permite determinar si es o no factible continuar con los siguientes pasos de ejecución de un proyecto de cogeneración. Si es factible se

debería pasar a desarrollar las diferentes fases de ejecución de un Proyecto (visualizar, conceptualizar, definir, implantar y operar), donde este estudio de factibilidad corresponde a la fase Visualizar.

AGRADECIMIENTOS

A los Ingenieros mecánicos: Eduardo Curbelo, Luis Vielma, Jowar Abril, Argemis Míndola, Marilyn Aguilera, José Muñoz, Roberto García, Ingenieros químicos, David Méndez, Celestino Rodríguez, Alexis Liccini, José Castro, Felipe Lago, Jesús Marciano, Arquímides Muzandarin, Ingenieros Industriales, Nelly Torres, Fabiola Cairn, Ingeniero en Sistemas Gonzalo Díaz, Ingeniero de ambiente José Prezilla, a los Ingenieros por el apoyo prestado a este trabajo.

REFERENCIAS

- [1] GEENERGY, General Electric, 2014 véase también http://www.geenergy.com/products_and_services/products/gasturbines_heavy_duty/mc5002c_jip
- [2] Anónimo. "Análisis y simulación de proceso" [en línea]. Disponible en: http://www.virtual.ural.edu.co/cursos/ingenieria/ena_sim/mod_1/html/contenido08.html [Consultado el 15 de enero de 2014].
- [3] HENAO, C. y VÉLEZ, J. 2002 "Manual del laboratorio diseño de procesos químicos - Uso del paquete de simulación HYSYS.Proceso". Medellín.
- [4] Anónimo. "ProModel, Simulador de Procesos Industriales" [en línea]. Disponible en: http://www.virtual.ural.edu.co/cursos/ingenieria/ena_sim/mod_1/html/contenido04.html [Consultado el 11 de enero del 2014].
- [5] Anónimo. "Simulación de Proceso" [en línea]. Disponible en: http://www.ecurad.cu/index.php/Simuladores_de_Procesos [Consultado el 15 de enero de 2014].
- [6] Anónimo. "ProModel, Simulador de Procesos Industriales" [en línea]. Disponible en: <http://www.programade.com/procesos-simulador-de-procesos-industriales> [Consultado el 11 de enero del 2014].
- [7] AGUIRREAGA ORTEGA, Arturo, GALÁN VÁZQUEZ, Angel Gerardo. 2009. "Alternativas de cogeneración con ciclo combinado entre Cfe Y Pemas en Salamanca, Oaxaca", México, p.122.
- [8] Ansel Padilla, Pedro, Domínguez Abreu, Hugo, Chang Muzant Francisco. 2004. "Una introducción a MATLAB" Cuba, p.65
- [9] Anónimo. "ETAP, Software de Sistemas de Potencia/Sistema de Gestión de Energía" [en línea]. Disponible en: <http://etap.com/country/sp/electrical-power-system-software/etap-products.htm> [Consultado el 15 de noviembre del 2013].
- [10] Mendosa J. (2002) Análisis del Diseño Termodinámico de Centrales Eléctricas del Ciclo Combinado, Piara.
- [11] GUEVARA CHINCHAYAN, Robert. "Tecnologías Energéticas" [en línea]. Disponible en: http://www.biblioteca.uzma.edu.pa/saladocentos/archivos/Acurzo/SESION_1.ppt [Consultado el 10 de febrero de 2013].
- [12] Anónimo. "SAN ROQUE 4-generación eléctrica mediante central térmica de ciclo combinado". [en línea]. Disponible en: <http://www.enelmasanduca.com/.../ta-centrales-terricas-de-ciclo-combinado> [Consultado el 23 de febrero de 2014].
- [13] Anónimo. "El ciclo ranking" [en línea]. Disponible en: <http://www.cicloscombinados.com/index.php/el-ciclo-ranking> [Consultado el 14 de marzo de 2014].

Alternativas para incrementar la eficiencia y capacidad de las turbinas de gas

Miguel Capella Castro*, David Vásquez Santos**

Resumen

Este artículo presenta las alternativas con las que cuentan las unidades de generación térmica que operan turbinas de gas en Colombia para incrementar su eficiencia, potencia de salida y, por ende, su competitividad. Las alternativas presentadas en este trabajo se basan en la influencia que sobre las turbinas de gas tienen la temperatura de entrada del aire al compresor, el flujo másico que pasa a través de los álabes y la temperatura de entrada al rotor. De igual modo se exponen ciclos de generación alternativos al costoso ciclo combinado, que al igual que éste utilizan un recuperador de calor para generar vapor, aprovechando los gases de escape de la turbina de gas, y expandirlo bien sea mediante una turbina de vapor o en el mismo eje de la turbina de gas.

Palabras claves: Enfriamiento evaporativo, temperatura de entrada al rotor, recuperador de calor generador de vapor.

Abstract

This paper shows the alternatives that thermal power plants counts to improve its efficiency, power output and competitiveness. The shown alternatives are based on the influence that compressor inlet temperature, rotor inlet temperature and mass flow through machine have over gas turbines. We expose alternative power generating cycles different to the expensive combined cycle. All of them use heat recovery steam generators to produce steam, using hot gas turbine exhaust flow, and to expand it with a steam turbine or in the shaft of the gas turbine.

Key words. Evaporative cooling, rotor inlet temperature, heat recovery steam generator.

Fecha de recepción: 10 de octubre del 2000

* Ingeniero Mecánico, Universidad del Norte 1976. Docente de los Departamentos de Ingeniería Mecánica e Ingeniería Eléctrica de la Universidad del Norte. Miembro del subcomité de plantas térmicas del Consejo Nacional de Operación. (e-mail: mcapello@termoflores.com.co)

** Ingeniero Mecánico, Universidad del Norte, 1999.

Introducción

Teniendo en cuenta que el potencial eléctrico hidráulico instalado en el país es suficiente para abastecer el total de la demanda nacional y que el costo de

producir un kW con gas es casi tres veces el necesario para producir un kW con agua, resulta de gran importancia para los generadores térmicos a gas buscar alternativas que permitan aprovechar al máximo la capacidad de sus unidades de generación.

Para modificar la potencia de una turbina de gas se deben alterar, principalmente, dos parámetros: el flujo másico que pasa a través de los álabes de la turbina y la temperatura del fluido de trabajo a la entrada del rotor.

Así mismo, es posible incrementar la eficiencia y la potencia de un ciclo simple recuperando la energía remanente en los gases de escape mediante un recuperador de calor. Este equipo produce vapor que puede ser expandido en el mismo eje de la turbina de gas o en otro eje mediante una turbina de vapor.

Se debe señalar que aunque en Colombia aproximadamente 1.570 MW son generados por plantas térmicas a vapor, ya sea producidos por gas natural o carbón pulverizado, cuando en este artículo se haga referencia a «generadores térmicos» se estará haciendo alusión únicamente a aquellos cuyas unidades operan turbinas de gas, bien sea en ciclo simple, ciclo combinado o ciclo STIG (*Steam Injected Gas turbine system*).

Factores que afectan el desempeño de las turbinas de gas

Dado que la turbina de gas es un motor que respira aire del ambiente, su desem-

peño cambia con cualquier cosa que afecte el flujo de masa de aire de admisión al compresor, y con mayor razón los cambios en las condiciones de referencia de la *International Standards Organization* (ISO) de 15°C (59°F), 60% de humedad relativa y 101.4 kPa (14.7 psia). Debido a esto, el desempeño de las turbinas de gas varía significativamente con las condiciones locales, y la temperatura ambiente es un factor determinante [1].

Si se disminuye la temperatura ambiente, la capacidad y eficiencia de las turbinas de gas se incrementan, debido a que esta disminución induce un aumento en la densidad del aire en la succión del compresor y, para una velocidad constante del mismo, esto se traduce en un incremento en el flujo másico.

La presión atmosférica tiene, igualmente, un efecto importante sobre la capacidad de las turbinas de gas, aunque no sobre su eficiencia. Cuando la presión atmosférica disminuye, la densidad del aire baja, lo que, a su vez, reduce el flujo de masa hacia la turbina y, por tanto, su capacidad. De igual modo, el aire húmedo, al ser más denso que el aire seco, también afecta la producción de potencia.

El tipo de combustible también influye en el rendimiento. Es así como el gas produce alrededor del 2% más de salida de potencia que los destilados del petróleo.

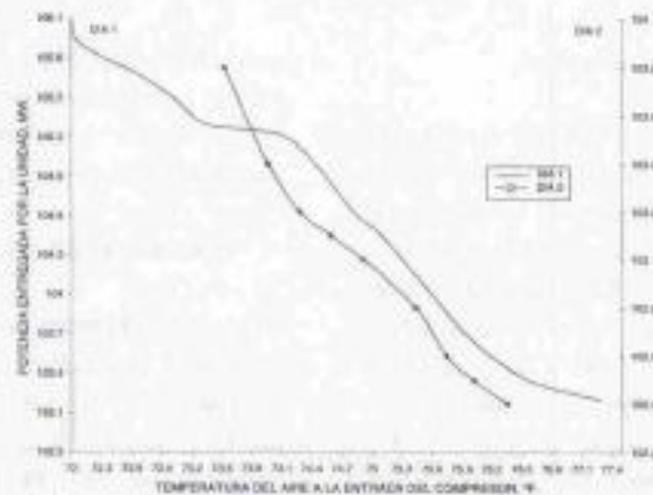


Figura 1. Efecto del aumento en la temperatura ambiente sobre la capacidad de generación de una turbina de gas, en ciclo combinado, que opera bajo las condiciones ambientales de Barranquilla

La figura 1 presenta los resultados obtenidos de una prueba realizada a una unidad en ciclo combinado compuesto por una turbina de gas de 100 MW y una turbina de vapor de 50 MW, ubicado en Barranquilla, durante dos días (no consecutivos) que estuvo operando con carga base las 24 horas. En esta prueba se observó que por cada grado Fahrenheit de incremento en la temperatura del aire a la entrada del compresor, la potencia final de la turbina de combustión cayó en promedio 0.54 MW el primer día y 0.41 MW el segundo. En la misma figura se observa también una disminución casi lineal en la potencia de salida con respecto al incremento en la temperatura ambiente.

Esta unidad posee un enfriador evaporativo, por lo que las temperaturas señaladas en la figura 1 no corresponden a la temperatura ambiente de Barranquilla sino a la de bulbo seco, modificada

por el enfriador, inmediatamente antes de la primera rueda de álabes del compresor.

Sistemas de enfriamiento

Los parámetros que se tienen en cuenta para seleccionar el tipo de sistema de enfriamiento más conveniente incluyen: el tipo de turbina, las condiciones climáticas, las horas de operación de la turbina, la relación entre flujo másico y potencia generada y el precio de la energía en el mercado.

Las principales ventajas que se obtienen al enfriar el aire en la succión del compresor son: mejoramiento en la potencia de salida, disminución del consumo térmico específico en ciclo simple y ciclo combinado y disminución en las emisiones debido al mejoramiento en la eficiencia total.

- **Enfriador Evaporativo**

Este sistema reduce la temperatura de una corriente de aire a través de la evaporación de agua y es aplicable en lugares donde el aire es cálido, y es más efectivo en ambientes secos. El enfriamiento se logra haciendo pasar el aire a través de un filtro por el cual se deja que escurra el agua. Debido a la baja humedad relativa del ambiente, parte del agua líquida se evapora. La energía del proceso de evaporación viene de la corriente de aire, por lo que éste se enfría. Un enfriador evaporativo incrementa la humedad relativa hasta valores alrededor del 85%.

La capacidad de enfriamiento de este sistema está limitada por la diferencia

entre las temperaturas de bulbo seco y bulbo húmedo del ambiente. Sus ventajas son sus bajos costos iniciales y su facilidad de operación.

- **Sistema de Niebla (Fogging System)**

Este sistema trabaja con el mismo principio del enfriador evaporativo, pero en lugar de un filtro usa billones de micro gotas de agua atomizada para el intercambio de energía, y es posible alcanzar disminuciones en la temperatura del aire de hasta 20°F. Este sistema eleva la humedad relativa hasta el 100%. La figura 3 muestra un esquema de este sistema y señala sus componentes. Sus costos de capital son comparativamente bajos y su operación no es compleja.

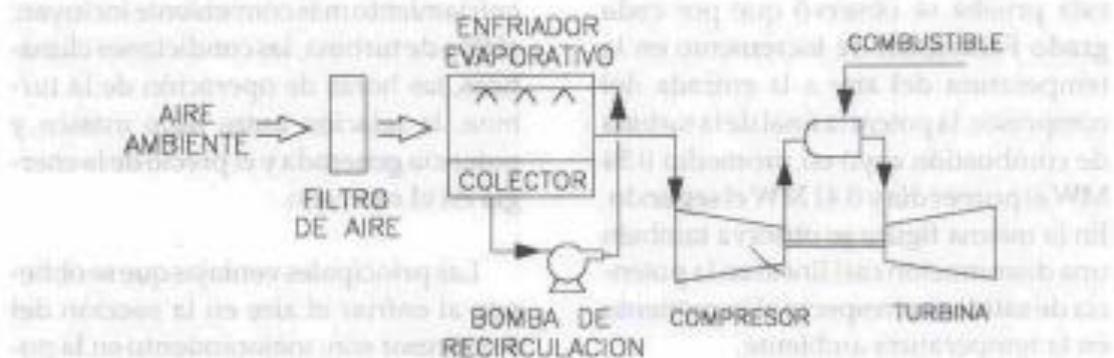


Figura 2. Esquema *Enfriador Evaporativo*

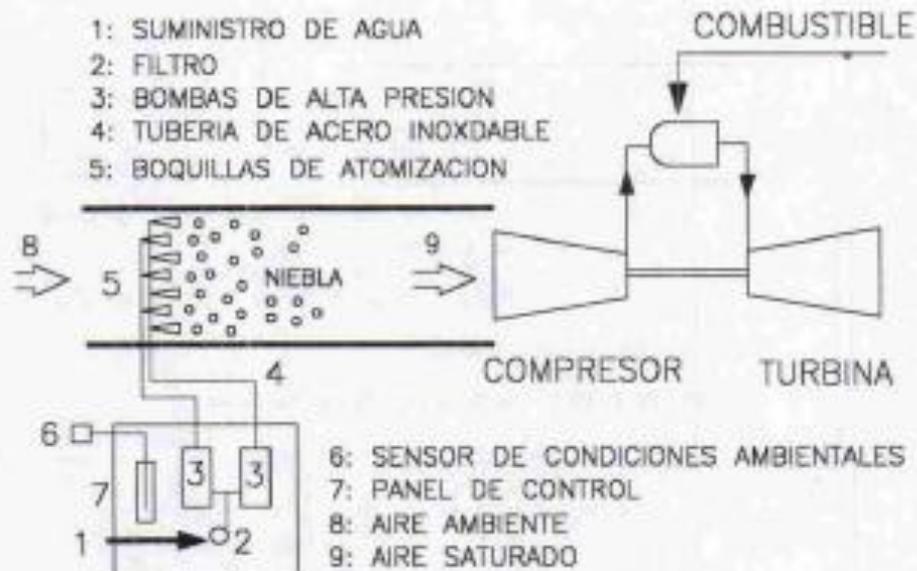


Figura 3. Esquema Sistema de Niebla

- **Compresión Húmeda**
(*Wet Compression*)

La «compresión húmeda» proporciona un método económico para producir un aumento significativo en la capacidad de generación de una turbina de gas. Incluye un sistema de atomización y rocío, modificaciones en la lógica de control de la turbina de gas y cambios adicionales en algunos componentes, a fin de hacerlos más seguros y confiables. El incremento en la potencia viene de una combinación de los efectos de un enfriamiento evaporativo, un incremento en el flujo másico y una reducción en el trabajo del compresor debida a un interenfriamiento en las primeras etapas del mismo. Los incrementos de potencia logrados con este sistema oscilan entre el 10 y el 25%, y son más confiables que

los alcanzados por enfriadores evaporativos y sistemas de niebla, ya que no dependen de la humedad relativa del medio ambiente.

- **Refrigeración Mecánica/Absorción**

Este sistema es capaz de mantener una temperatura del aire tan baja como se desee, sin importar las condiciones ambientales. Sus desventajas son: alto consumo de energía de auxiliares, alta complejidad, alto costo inicial y requiere grandes espacios. En algunos casos no es económicamente viable.

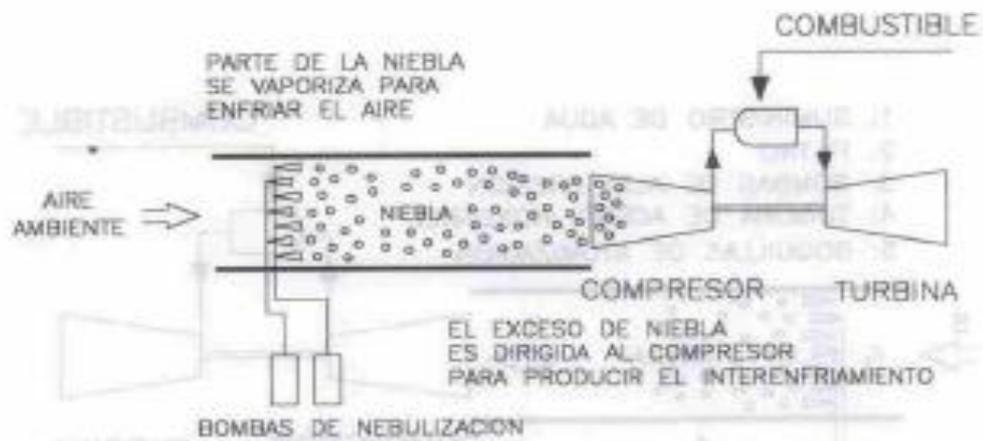


Figura 4. Esquema Compresión Húmeda

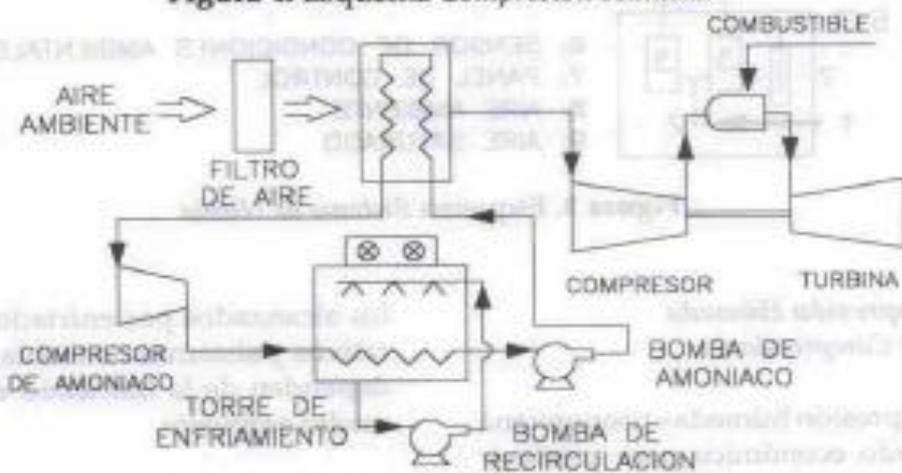


Figura 5. Esquema Refrigeración Mecánica

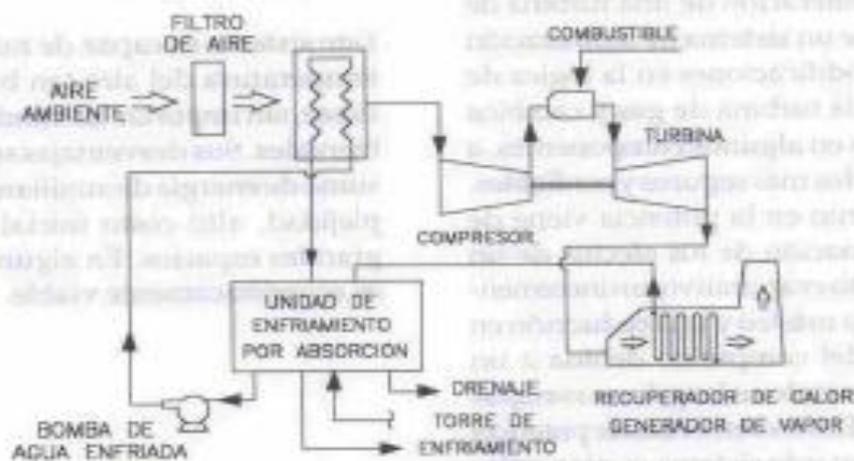


Figura 6. Esquema Refrigeración por Absorción

Alternativas para recuperar la energía remanente en los gases de escape

Una forma de llevar al máximo la recuperación de la energía en los gases de escape mediante la producción de vapor, consiste en utilizar un recuperador de calor que genere vapor a múltiples niveles de presión. El vapor generado es inyectado en una turbina de vapor o en la cámara de combustión de la misma turbina de gas. Las secciones de transferencia de calor incluyen (i) *economizadores*, por los cuales entra el agua al recuperador, gracias a lo cual eleva su temperatura hasta 5°C (10°F) por debajo de la temperatura de saturación del agua a la presión que es bombeada; (ii) *evaporadores*, donde el agua cambia de líquido comprimido a vapor saturado, e (iii) *sobrecalentadores*, en los que el vapor gana calor para pasar de vapor saturado a vapor sobrecalentado. En la figura 7 se observa el esquema de un ciclo STIG con turbina de vapor en el que se detalla el interior del recuperador de calor de dos niveles de presión.

- **Turbinas de gas en ciclo combinado***

La configuración más usada para aumentar la potencia y eficiencia de una turbina de gas es el ciclo combinado. Este sistema utiliza un recuperador de calor generador de vapor acoplado a la salida de los gases de escape de la turbina para producir vapor que será expan-

dido en una turbina de vapor. Los principales equipos que requiere un ciclo combinado son: una turbina de vapor, un condensador de superficie, un sistema de enfriamiento, un generador eléctrico adicional y numerosos sistemas auxiliares.

Una de las mayores desventajas que presentan los ciclos combinados es la alta inversión de capital que implican. Con el fin de salvar esta dificultad se han ideado ciclos de potencia diferentes para recuperar la energía disponible en los gases de escape de una turbina de gas.

- **Ciclo STIG (Steam Injected Gas Turbine System)**

El ciclo STIG proporciona una alternativa eficiente a un relativamente bajo costo para recuperar la energía de los gases de escape de una turbina de gas. Este sistema utiliza un recuperador de calor acoplado a la salida de los gases de escape de la turbina para generar vapor que será inyectado en la cámara de combustión de la misma turbina de gas. El propósito de esta configuración es incrementar el flujo másico que pasa a través de los álabes de la turbina, que son los encargados de transmitir la energía del fluido de trabajo, en este caso, la mezcla de gases de combustión y vapor sobrecalentado, al rotor.

La gran cantidad de agua requerida para la formación de vapor representa un problema importante, debido a que no hay recuperación del agua utilizada.

* En el artículo «Turbinas a gas: tecnología competitiva en el mercado eléctrico colombiano», publicado en la edición N° 7 de esta revista, se expone más ampliamente esta configuración.

- **Ciclo STIG con turbina de vapor**

Este sistema consta de cuatro pasos: (1) Se genera un primer flujo de vapor a una presión A. (2) Se genera un segundo flujo de vapor a una presión B, siendo B mayor que A. (3) Se produce potencia en un segundo eje por la expansión parcial de B –en una turbina de vapor– hasta los niveles de presión de A. (4) Finalmente, se unen los dos flujos de vapor, de presión A, y se inyectan en la cámara de combustión de la turbina de gas para incrementar su potencia de salida [2].

En este sistema, al igual que en el ciclo STIG, no hay recuperación de agua utilizada para generar el vapor.

- **Ciclo Cheng avanzado**

Este sistema logra la unión del ciclo Brayton y el ciclo Rankine sin requerir de generador eléctrico adicional, condensador, turbina de vapor, torre de enfriamiento ni grandes sistemas auxiliares. El sistema Cheng opera como un

carburador, en un motor de gasolina, al momento de inyectar vapor sobrecalentado dentro de la cámara de combustión de la turbina para alcanzar la mayor eficiencia y potencia posibles. En esta técnica, la combustión del gas calienta la mezcla de aire y vapor a la temperatura de trabajo de la turbina de combustión y permite su operación a temperaturas superiores a 1.450°C (2650°F). En consecuencia, el incremento de potencia es debido no sólo al aumento de flujo másico a través de la máquina sino también a las elevadas temperaturas de los gases a la entrada del rotor de la turbina. En este proceso, el vapor trabaja sinérgicamente con la mezcla aire-combustible, lo cual eleva su potencial térmico [3].

El ciclo Cheng provee eficiencias de ciclo combinado a costos de ciclo simple basándose en que la eficiencia pico del ciclo se logra a una única relación de flujo másico entre el vapor sobrecalentado y el aire comprimido en la cámara de combustión. Es así como este ciclo alcanza incrementos en la potencia de

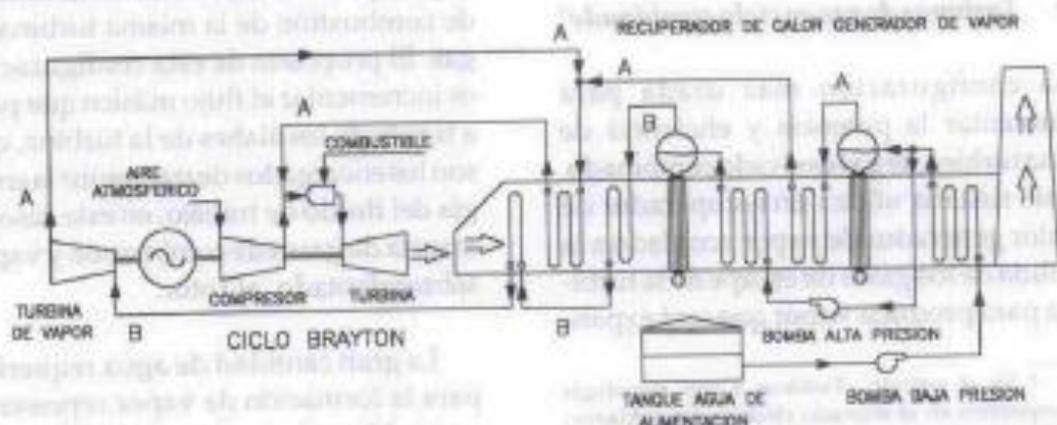


Figura 7. Esquema del ciclo STIG con turbina de vapor

salida y la eficiencia de hasta el 80 y 40%, respectivamente. La tabla de abajo presenta las capacidades y eficiencias que se pueden alcanzar con dos modelos de turbina del fabricante *Westinghouse*, operando en condiciones ambientales similares, en distintas configuraciones.

El ciclo Cheng es muy constante a todos los niveles de temperatura ambiente, lo cual es una real ventaja cuando se opera en climas cálidos, pero presenta el mismo inconveniente del ciclo STIG, puesto que en este sistema tampoco hay recuperación del agua utiliza-

da para la producción del vapor.

Las diferencias entre el sistema tradicional de inyección de vapor y el moderno ciclo Cheng consisten básicamente en que este último inyecta mayores cantidades de vapor, ya que no sólo lo usa para incrementar la potencia de salida, sino también para reemplazar parte del aire desangrado del compresor en la misión de enfriar los combustores. Además de esto, el sistema Cheng es aplicable tanto en turbinas que requieran ser repotenciadas como en turbinas modernas y de gran capacidad.

Datos comparativos para dos modelos de turbina operando en diferentes configuraciones

Configuración	Ciclo Simple		Ciclo Combinado		Ciclo Cheng	
Condiciones ambientales	Barranquilla	Barranquilla	Barranquilla	Cali	32°C y 14.7 psia	32°C y 14.7 psia
Modelo de turbina	W501D5	W501F	W501D5	W501F	W501D5	W501F
Potencia, MW	100	150	150	230	180	256
Eficiencia, %	32	35	47	50	46	47

Fuente: Referencia 3.

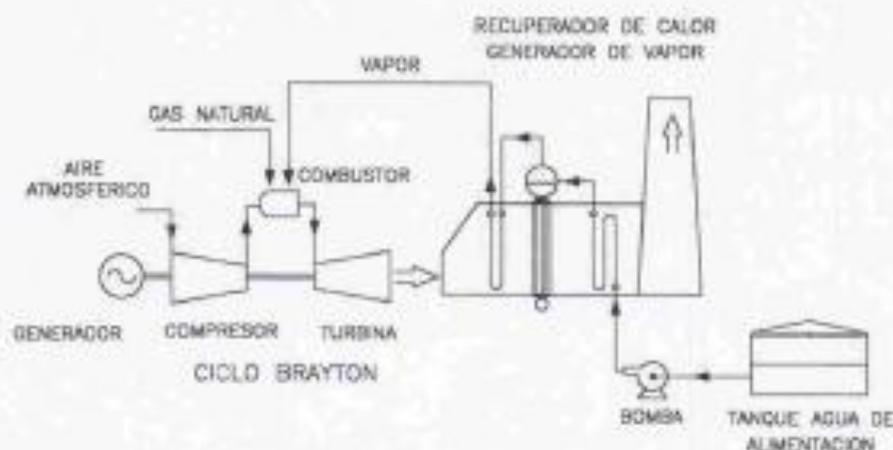


Figura 8. Esquema ciclos STIG y Cheng.

CONCLUSIONES

- Como respuesta a las exigentes condiciones que impone el mercado eléctrico colombiano, los generadores térmicos que operan turbinas de gas en ciclo simple se ven en la obligación de buscar alternativas, diferentes al costoso ciclo combinado, que les permitan permanecer dentro de un mercado que ha demostrado aceptar sólo unidades eficientes y competitivas. En atención a esta necesidad se presentan los ciclos STIG y Cheng, que al incrementar el flujo másico a través de los álabes de la turbina logran aumentos considerables en la eficiencia y potencia de los sistema de producción de energía con turbinas de gas.
- El aumento en el flujo másico a través de la turbina y la disminución del trabajo demandado por el compresor, que se logran enfriando el aire

en la succión del mismo, además de incrementar la potencia representan la alternativa más económica para mejorar la eficiencia y la competitividad de las turbinas de gas. Lo anterior teniendo en cuenta que con estos sistemas es posible alcanzar incrementos en la potencia de salida de alrededor del 20% con inversiones de capital comparativamente bajas.

Referencias

1. *Manual del ingeniero de planta*, Vol. 2, capítulo 4. McGraw-Hill.
2. *Steam injected gas turbine system with topping steam turbine*. Patent number 5,564,269, Oct. 15-1996. <http://patents.uspto.gov>
3. «Superheated steam injection rivals combined cycle power performance». Artículo publicado en la edición julio-agosto de 1998 de la revista *Gas Turbine World*, p. 12 a17.