

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



---

---

**COGENERACIÓN DE ENERGÍA CON GRUPOS  
ELECTRÓGENOS PARA LA GENERACIÓN DE AGUA  
CALIENTE SANITARIA**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO EN  
ENERGÍA**

---

---

**AUTOR :**

Bach. Aguilar LLiuya Richar Ravello

**ASESOR :**

Mg. Gualberto Antenor Mariños Castillo

**NUEVO CHIMBOTE, ENERO DEL 2022**

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



**CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR**

La presente Tesis para Título ha sido revisada y desarrollada en cumplimiento del objetivo propuesto y reúne las condiciones formales y metodológicas, estando en cuadrado dentro de las áreas y líneas de investigación conforme al reglamento general para obtener el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa (R.D: N°492-2017-CU-R-UNS) de acuerdo a la denominación siguiente

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO EN  
ENERGÍA

COGENERACIÓN DE ENERGÍA CON GRUPOS ELECTRÓGENOS PARA  
LA GENERACIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA

AUTOR : Bach. Aguilar LLiuya Richar Ravello

-----  
Mg. Gualberto Antenor Mariños Castillo  
ASESOR



## UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA E.P. INGENIERÍA EN ENERGÍA

---

### CARTA DE CONFORMIDAD DEL JURADO

El presente jurado evaluador da la conformidad del presente informe, desarrollado en el cumplimiento del objetivo propuesto y presentado conforme al reglamento General para obtener el grado Académico de Bachiller y Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa (R.D N°492-2017-CU-R-UNS); titulado:

### “COGENERACIÓN DE ENERGÍA CON GRUPOS ELECTRÓGENOS PARA LA GENERACIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA”

**Autores:**

Bachiller AGUILAR LLIUYA Richar Ravello

Revisado y evaluado por el siguiente Jurado Evaluador.

---

Mg. Amancio Ramiro Rojas Flores

---

Mg. Gualberto Antenor Mariños Castillo

---

M.Sc. Julio Hipólito N. Escate Ravello



## ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

A los veinticinco días del mes de febrero del año dos mil veintidós, siendo las once y treinta horas de la mañana, se reunieron en forma virtual a través de la aplicación zoom, el Jurado Evaluador designado mediante Resolución N°033-2022-UNS-CFI, integrado por los siguientes docentes:

- Mg. AMANCIO RAMIRO ROJAS FLORES : PRESIDENTE
- M.Sc. JULIO HIPOLITO NESTOR ESCATE RAVELLO : SECRETARIO
- Dr. GUALBERTO ANTENOR MARIÑOS CASTILLO : INTEGRANTE

Para dar inicio a la sustentación y evaluación de la Tesis titulada: "COGENERACIÓN DE ENERGÍA CON GRUPOS ELECTRÓGENOS PARA LA GENERACIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA" elaborado por el Bachiller de Ingeniería en Energía: RICHAR RAVELLO AGUILAR LLIUYA con código de matrícula N° 0200611002, teniendo como asesor al docente Dr. Gualberto Antenor Mariños Castillo, según Resolución Decanal N° 049-2021-UNS-FI, de fecha 04 de febrero del 2021

Terminada la sustentación de la Bachiller, respondió las preguntas formuladas por los miembros del jurado y el público presente.

El Jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo y con las sugerencias pertinentes, en concordancia con el artículo 103° del Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad Nacional del Santa, declara:

BACHILLER	PROMEDIO	PONDERACIÓN
RICHAR RAVELLO AGUILAR LLIUYA	Diecisiete (17)	Muy Bueno

Siendo las doce y treinta horas del mismo día, se da por terminado el acto de sustentación, firmando los integrantes del jurado en señal de conformidad.

  
Mg. Amancio R. Rojas Flores  
PRESIDENTE

  
M.Sc. Julio H. N. Escate Ravello  
SECRETARIO

  
Dr. Gualberto A. Mariños Castillo  
INTEGRANTE



## Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega:	Richard Aguilar Lliuya
Título del ejercicio:	TESIS
Título de la entrega:	TESIS REVISION FINAL
Nombre del archivo:	TESIS_RICHARD_AGUILAR.pdf
Tamaño del archivo:	1.92M
Total páginas:	107
Total de palabras:	21,116
Total de caracteres:	107,766
Fecha de entrega:	30-dic.-2021 05:14a. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega:	1736438361



## DEDICATORIA

A Dios por su infinita bondad

A mis queridos padres

A mis hermanos.

A Ana Maribel Yanac Regalado

Mi esposa y compañera en este proyecto de vida

Por sus sabios consejos, palabras de aliento

Que permitieron culminar con mi carrera de

Ingeniero en Energía.

R.R.A.LL

## RECONOCIMIENTO

Al Mg. Antenor Mariños  
por su asesoría en el desarrollo  
y culminación de esta tesis.

A mis profesores de la  
E.P de Ingeniería en Energía  
por invaluable labor desarrollada.

Para mis compañeros de trabajo y a LSV  
Por su apoyo en la culminación de esta tesis.

Atentamente,

R.R.A. LL

## Índice General

<b>RESUMEN .....</b>	<b>XII</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1 REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	1
1.2 ANTECEDENTES .....	2
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	5
1.4 HIPÓTESIS .....	5
1.5 OBJETIVOS.....	6
<b>II. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>7</b>
2.1 COGENERACIÓN.....	7
2.2 COGENERACIÓN CON GRUPOS ELECTRÓGENOS.....	14
2.3 DEMANDA DE AGUA CALIENTE SANITARIA ACS.....	30
2.4 COGENERACIÓN CALIFICADA.....	34
2.5 EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	37
<b>III. MATERIALES Y MÉTODO .....</b>	<b>39</b>
3.1 MATERIALES.....	39
3.2 MÉTODOS.....	44
<b>IV. CALCULOS Y RESULTADOS .....</b>	<b>52</b>
4.1 DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA TÉRMICA DE AGUA CALIENTE SANITARIA, DEMANDA TÉRMICA RESTANTE Y DEMANDA ELÉCTRICA COINCIDENTE.....	52
4.2 DIMENSIONAMIENTO DEL GRUPO ELECTRÓGENO DE GAS NATURAL PARA LA COBERTURA DE LA DEMANDA ELÉCTRICA DEL HOSPITAL REGIONAL ELEAZAR GUZMÁN BARRÓN .....	56
4.3 CUANTIFICACIÓN DE LOS FLUJOS DE ENERGÍA REMANENTE EN LOS SISTEMAS DE ESCAPE Y ENFRIAMIENTO DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA DEL GRUPO ELECTRÓGENO.....	58
4.4 RENTABILIDAD DE LA COGENERACIÓN CALIFICADA.....	63
4.5 DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	68
<b>V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>70</b>
5.1 CONCLUSIONES.....	70
5.2 RECOMENDACIONES .....	71



<b>VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>72</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.</b>
ANEXO 1 COSTOS UNITARIOS DE ZONA DE CONCESIÓN CHIMBOTE .....	77
ANEXO 2 EXTRACTO DE PRECIOS EN BARRA INFORME N° 123-2020-GART .....	78
ANEXO 3 CATALOGO GRUPO ELECTRÓGENO.....	79
ANEXO 4 CATALOGO DE MAQUINA LAVADORA .....	89
ANEXO 5 PRESUPUESTO INSTALACIÓN DE PLANTA COGENERACIÓN CALIFICADA. .....	90

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Arreglos de los sistemas de cogeneración .....	9
Figura 2 Flujo de energía en sistemas de cogeneración turbinas de vapor.....	10
Figura 3 Flujo de energía en sistemas de cogeneración con turbinas de gas.....	11
Figura 4 Flujo de energía en sistemas de cogeneración con m.c.i .....	12
Figura 5 Rendimiento de planta en un m.c.i.....	20
Figura 6 Flujo de fluidos principales en un motor alternativo .....	22
Figura 7 Recuperador de calor de gases de la combustión.....	25
Figura 8 Disposición de sistemas de recuperación de calor.....	27
Figura 9 Lavadoras con agua caliente sanitaria.....	32
Figura 10 Esterilizadores.....	33
Figura 11 Marmitas de Hospital.....	34
Figura 12 Parámetros de Cogeneración Calificada en MCI.....	36
Figura 13 Diagrama de carga eléctrico típico HEGB.....	39
Figura 14 Esquema de la distribución de energía situación inicial .....	50
Figura 15 Esquema de la distribución de energía situación propuesta.....	50
Figura 16 Diagrama Termodinámico de la distribución de energía situación propuesta .....	51
Figura 17 Flujo másico y demanda térmica de agua caliente sanitaria .....	52
Figura 18 Flujo másico de vapor saturado .....	54
Figura 19 Flujo másico y demanda térmica de agua caliente sanitaria .....	55
Figura 21 Flujo máximo de agua a procesar para obtener vapor saturado y agua caliente sanitaria. ....	56
Figura 22 Balance Energético del Flujo de energía del sistema de cogeneración.....	63
Figura 23 Comparativo económico por cogeneración calificada para generar agua caliente sanitaria .....	65

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Criterios de Calificación.....	35
Tabla 2 Horario de distribución de energía térmica en centros de consumo.....	40
Tabla 3 Consumo de energía térmica en lavadoras .....	40
Tabla 4 Consumo de energía térmica en planchadora.....	41
Tabla 5 Consumo de energía térmica en secadoras .....	41
Tabla 6 Consumo de energía térmica en marmitas.....	41
Tabla 7 Consumo de energía térmica en servicio de esterilización.....	42
Tabla 8 Características operativos de Calderas Pirotubulares.....	42
Tabla 9 Flujo Térmico para obtener vapor saturado y agua caliente sanitaria .....	57
Tabla 10 Características técnicas de grupo electrógeno con gas natural .....	57
Tabla 11 Indicadores de rentabilidad.....	67

## RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo principal determinar las condiciones de cogeneración de energía con grupos electrógenos para generar agua caliente sanitaria en un hospital empleando como combustible gas natural. teniéndose actual una demanda máxima de 185KW, así como un consumo de agua caliente sanitaria de 100 kg/h a 90 °C, vapor saturado a presiones de 3 a 1.5 bar producidos a través de un caldero piro-tubular de 70 BHP con petróleo BD5.

El método de investigación es pre- experimental de naturaleza descriptiva. Dentro de los resultados, tenemos que se puede cubrir la demanda total de agua caliente sanitaria que es de 470kg/h con una central de cogeneración calificada de 786 kW de potencia efectiva con la cual se cubre la totalidad de la demanda eléctrica, determinando la viabilidad económica con un PAY BACK de 6.5 años, el TIR igual 14,32 % y el VAN positivo.

**PALABRA CLAVE:** cogeneración, grupos electrógenos, agua sanitaria

## **ABSTRACT**

The main objective of this work was to determine the conditions of cogeneration of energy with generators to generate hot water in a hospital using natural gas as fuel. currently having a maximum demand of 185KW, as well as a domestic hot water consumption of 100 kg/h at 90 °C, saturated steam at pressures of 3 to 1.5 bar produced through a 70 BHP fire-tube boiler with BD5 oil.

The research method is pre-experimental and descriptive in nature. Within the results, we have that the total demand for domestic hot water can be covered, which is 470kg/h with a qualified cogeneration plant of 786 kW of effective power with which the entire electrical demand is covered, determining the viability economic with a PAY BACK of 6.5 years, the IRR equal to 14.32% and a positive NPV.

**KEY WORD:** Cogeneration, Generator Sets, Sanitary Water.

## **I. INTRODUCCIÓN**

### **1.1 REALIDAD PROBLEMÁTICA**

La energía es un insumo de vital importancia para la producción o servicio que desarrollan los centros de consumo de energía, en este caso los centros de salud requieren de un suministro eléctrico confiable, continuo y seguro para desarrollar sus diversas actividades tal como servicio de atención consultorio externo y hospitalización y para la funcionalidad de las áreas conformantes en los centros de salud (Pabellones, Unidad de Tratamiento Intensivo, Consulta Ambulatoria, Sala de Hospitalización, Tiraje, Pasillos, etc.). Así mismo las condiciones de confort requieren de energía eléctrica para los sistemas de iluminación, climatización e instrumentación biomédica, del mismo modo se requiere de vapor saturado y agua caliente para los servicios auxiliares a la atención médica.

En general, el equipamiento y las tareas especialidades en el hospital definen la dinámica del consumo de energía, en muchos casos dependerá de la tecnología a emplear y del tipo de especialización médica. De igual modo, las condiciones de trabajo caracterizan la matriz energética del centro de salud. En algunas ciudades solo se cuenta con petróleo y GLP para el suministro de las instalaciones de calefacción y generación de vapor y agua caliente sanitaria. Así mismo según el tipo de fuente o insumo energético y su disponibilidad, se dispondrá de la tecnología necesaria para su empleo, lo cual está ligada directamente a los costos operativos y las emisiones de carbono.,

La infraestructura hospitalaria es un centro de consumo de energía del tipo de servicios, con la mayor intensidad de consumo a nivel nacional. Es necesario el suministro continuo durante las 24 horas del día, con lo cual la falta de combustible implica restringir el servicio en muchos casos, más aún si existiese déficit de energía eléctrica. Por ello es necesario buscar soluciones tecnológicas eficientes en la solución del suministro de energía teniendo en cuenta el factor económico principalmente. Se considera tener diversas metodologías que permitan un suministro confiable y seguro dentro de un hospital, de tal manera que se adecue la dinámica del consumo de energía,

La alta facturación de energía eléctrica y los precios de los combustibles para las empresas de servicio como los hospitales ameritan tomar la decisión correcta en lo referente al uso eficiente de la energía y el aprovechamiento óptimo de los remanentes de flujo de calor sensible de los gases de combustión de los grupos electrógenos, con lo cual se formula el siguiente problema:

¿Cuál es la capacidad de generación de agua caliente sanitaria mediante la implementación de un sistema de cogeneración de energía con grupos electrógenos empleando como combustible gas natural?

## **1.2 ANTECEDENTES**

Se tienen las investigaciones que sirven como antecedentes al presente informe de tesis:

En la tesis de Ttacca y Mostajo (2017) titulada “Estudio de la eficiencia energética en los sistemas hospitalarios de salud – Hospital II Ayaviri”, para optar el título de Ingeniero Mecánico Electricista en la Universidad Nacional del Altiplano , planteo como objetivo establecer las acciones de eficiencia energética implementada en los centros de salud – Hospital II Ayaviri, Concluyo que el estudio realizado fue según normas nacionales e internacionales tomando como referencia estándares mínimos de eficiencia energética para los diferentes sistemas hospitalarios con lo cual busca mejorar el consumo energético dentro de los sistemas hospitalarios y dar propuestas a cambios de tecnologías y planes que fomentan el correcto uso de sistemas eléctrico mecánicos y lograr mejorar los índices de consumo energéticos actuales, en el cual la implementación de la cogeneración se debe realizar con motores de combustión interna.

Así mismo Ramos. (2012) en su tesis titulada Optimización del diseño y operación de sistemas de cogeneración para el sector residencial comercial para obtener el título de Ingeniero Mecánico en la universidad de Zaragoza en España, concluye que: el problema de optimización del dimensionamiento y operatividad de los sistemas de cogeneración se caracteriza por lo siguiente: análisis de la demanda, diseño y operación. La fase de análisis permitirá identificar la tecnología de cogeneración idónea que incluye el motor primo a instalar y su capacidad de generación. En la optimización del sistema se deberá interrelacionar los diversos componentes tal como motores de combustión interna, intercambiadoras de calor, calderos, chillers de absorción, entre otras, dimensionadas con criterios de eficiencia energética. La estructura de consumo de energía define el tipo de tecnología a implementar, así como de sus componentes auxiliares, cuya solución óptima determinara la estructura del sistema, así como de las estrategias de operación al menor costo total de operación.

Heredia (2020) en su tesis Efecto de la implementación de un proceso de Trigeneración sobre el consumo de energía primaria en un hospital para optar el título de Ingeniero en Energía en la Universidad Nacional del Santa- Perú, concluyo que el sistema de Trigeneración dimensionado, se seleccionó un motor de combustión interna con una potencia máxima de 140 kWe y 212 kWt el cual permite el auto suministro de energía suficiente como para independizarse de la red externa de energía; sin embargo, este motor alternativo no genera el calor requerido para cubrir la demanda total de energía térmica, por lo que dicho déficit de producción es ser cubierto por el sistema convencional de generación de vapor a través de los equipos actuales, los cuales deberán generar vapor saturado para abastecer las demandas de las diversas áreas del Hospital.

Del mismo modo Rodríguez. (2002) en su tesis de maestría titulada Cogeneración en el hospital San José de Monterrey: uso eficiente y calidad del suministro de energía en el Instituto Superior Tecnológico de Monterrey concluyó lo siguiente: se demostró que el modelo óptimo de cogeneración consta de un grupo electrógeno accionado por un motor de combustión interna con una potencia de 1 000 kW eléctricos y 1 800 kg/h de generación de vapor, con una inversión de 1.5 millones de dólares y un retorno de inversión en 6 años. Los esquemas de mayor adaptabilidad son aquellos que emplean turbinas de gas.

Erices (2014) en su tesis “Estudio de factibilidad técnico y económica para implementar plantas de cogeneración para satisfacer necesidades energéticas hasta 9 MW”, para optar el título de Ingeniero Civil Mecánico en la Universidad de Bio Bio en Chile, concluyen que tras el desarrollo de la cogeneración en Chile, se puede inferir que los MCI son sin duda la tecnología de cogeneración más adecuada cuando se trata de la generación de potencias eléctricas que se encuentran en una zona media-baja como era el caso de un tope de 9 MW eléctricos, básicamente hospitales. Además, presentan una gran ventaja sobre todo pensando en el sector terciario, esto porque como se explicó en capítulos anteriores se puede recuperar el calor de distintas zonas y a distintas temperaturas, lo cual es ideal para distribuir dicho calor en diferentes labores como climatización de oficinas, aguas sanitarias, etc.

Labastida (2009) en su tesis titulada análisis económico-financiero de la inclusión de bonos de carbono a un proyecto de pequeña escala del mecanismo de desarrollo limpio: caso planta de cogeneración en ciudad universitaria para optar el grado de Maestro en Ingeniería con



mención en Energía en la Universidad Autónoma de México concluye lo siguiente: En los MCI, este sistema arroja la mayor generación eléctrica por unidad de combustible consumido, alrededor del 34% al 40%, aunque los gases residuales son a baja temperatura 200° a 250°C. Sin embargo, en aquellos procesos en los que se puede adaptar, la eficiencia de cogeneración alcanza valores similares a los de las turbinas de gas. Con los gases residuales, se puede producir vapor de baja presión (alrededor de 10 a 15 kg/cm<sup>2</sup>) o agua caliente de 80° C a 100° C.

En la Investigación de Delgado y Diaz (2019) titulada Evaluación de proyecto de cogeneración con MCI en la UEB Ludema para la Universidad de las Tunas en Cuba, encontró los siguientes resultados: El estudio del sistema de cogeneración se centra en la generación mixta y simultánea de electricidad y calor en la UEB Muebles LUDEMA, para lo cual se determina la factibilidad del dimensionamiento de un intercambiador de calor para generar agua caliente sanitaria y su empleo durante el requerimiento de demanda de energía con un modelo de cogeneración, y de este modo incrementar la eficiencia del grupo electrógeno, mediante el empleo del calor sensible de los gases de combustión en plena operación, para este caso estos sistemas son aplicables a instalaciones de pequeña capacidad, como por ejemplo 449 kW. Poseen una alta eficiencia, alcanzando un valor del 50%. Se presenta una inversión es relativamente bajo, el sistema requiere poco espacio, su montaje es sencillo y presenta una rampa de arranque rápida en su puesta en marcha. La energía térmica requerida (agua caliente o vapor saturado de baja presión), es menor a la demanda eléctrica, en una comparación de unidades de energía equivalentes, la energía producida por el sistema de cogeneración se consigue con una eficiencia del 66 %, del mismo modo tiene un efecto en la reducción de la contaminación durante su operación.

Según Fernández (2014) en su tesis titulada Planta de cogeneración de un motor alternativo de combustión interna para un hospital en la Universidad de Cantabria en España, concluye que, en los centros de salud, la cobertura de energía es función de las condiciones climatológicas y de las características en el uso de la energía, la cual varía enormemente en altas fluctuaciones en horas y según los periodos estacionales. En el hospital de Santa María de Lugo, se genera la energía térmica requerida para cubrir las demandas de vapor, agua caliente y calefacción, mediante cinco calderos pirotubulares. Del mismo modo desde la red externa de energía eléctrica se consume la energía para los motores, sistemas de iluminación

y equipos médicos. La central térmica del hospital consta de 02 calderas pirotubulares para la generación de vapor saturado y 03 calentadores para generar agua caliente sanitaria, para lo cual se emplea gas natural. Se prevé instalar una planta de cogeneración para producir electricidad y calor útil de forma simultánea con una planta de cogeneración de 636 KW, además de instalar una caldera recuperadora de calor de los gases de escape para la generación de vapor y un intercambiador vapor-agua para generación de agua caliente sanitaria. La generación simultánea de electricidad y calor en las plantas de cogeneración permite un alto grado de aprovechamiento de la energía residual. El consumo energético de una planta de cogeneración es mucho menor que la 1/3 parte del consumo de una planta convencional de generación autónoma de energía eléctrica y térmica.

### **1.3 JUSTIFICACIÓN**

La justificación es la siguiente:

El propósito de la investigación es contribuir en la búsqueda de soluciones a la cobertura de demanda en centros de salud, en este caso en el hospital Regional Eleazar Guzmán Barrón cuyos resultados permitirán un grado de acercamiento al conocimiento de las causas y consecuencias, que afectan a la cobertura deficiente y consumo de energía. Para proponer mejoras en el desempeño energético que a partir de acciones correctivas permitan conseguir la excelencia en el consumo de energía y un ahorro económico importante, y además le permita un mejor posicionamiento frente a otras entidades de salud.

La finalidad de la investigación es seguir un método de trabajo para la conservación de la energía eléctrica y térmica, teniendo en consideración: el análisis tarifario, corrección del factor de potencia, utilización de los gases remanentes de la combustión para generar agua caliente y reducción de la facturación mensual de la energía eléctrica, costos operativos e incrementar la productividad del servicio de cobertura de salud.

El desarrollo del presente informe tiene como finalidad de llevar a cabo las bases para elaborar estudios y programas de eficiencia energética dentro del sector salud, en este caso el Hospital Regional Eleazar Guzmán Barrón.

### **1.4 HIPÓTESIS**

Mediante la implementación de cogeneración de energía con grupo electrógeno se puede cubrir el 10 % de la capacidad de generación de agua caliente sanitaria requerida empleando como combustible gas natural.

## **1.5 OBJETIVOS**

### **1.5.1 Objetivo general**

Determinar las condiciones de cogeneración de energía con grupos electrógenos para la generación de agua caliente sanitaria en un hospital empleando como combustible gas natural.

### **1.5.2 Objetivos específicos**

- Determinar la demanda térmica de agua caliente sanitaria y condiciones de uso.
- Estimar el tamaño del grupo electrógeno con gas natural para cobertura de la demanda eléctrica en el Hospital regional Eleazar Guzmán Barrón.
- Cuantificar los flujos de energía remanente en los sistemas de escape, enfriamiento y lubricación del motor de combustión del grupo electrógeno.
- Estimar la capacidad de generación de agua caliente generada, con el sistema de cogeneración de energía con grupo electrógeno con gas natural.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 COGENERACIÓN

#### A. Generalidades

La cogeneración es una tecnología de generación de energía que se define como la producción de energía eléctrica producida de manera simultánea y coordinada con vapor saturado u agua caliente sanitaria para el caso de los centros de salud; en este caso el aprovechamiento del calor sensible de un fluido caliente como fuente de energía secundaria, esta proveniente de la producción directa o indirecta de energía eléctrica. Los sistemas de cogeneración presentan rendimientos superiores en relaciona a los sistemas convencionales aprovechando el calor de deshecho y disminuyendo las pérdidas de energía, permitiendo sustanciales ahorros de energía primaria en este caso reducción del consumo de combustibles, ahorros económicos y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero considerables a mediano y largo plazo. (Rojas, 2021)

La cogeneración es una tecnología que permite la producción y el aprovechamiento combinado de calor y electricidad con un elevado rendimiento, por lo que es posible conseguir un ahorro considerable de combustible y de paso reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> que son causantes del efecto invernadero. La cogeneración es en la práctica un concepto muy antiguo. La American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, define la Cogeneración como un proceso energético en el que una fuente primaria produce dos formas útiles de energía: calor y electricidad. En una planta de generación termoeléctrica se quema normalmente un combustible fósil para producir vapor a alta temperatura y presión, el cual se hace pasar por una turbina para generar energía eléctrica. En este proceso, aun en las plantas más eficientes, se logra la conversión a electricidad de menos de 40% de energía disponible como calor en el combustible, el resto se descarga a la atmosfera, mediante los gases producto de la combustión que salen por la chimenea del generador de vapor y en los sistemas de condensación y enfriamiento del ciclo termodinámico. (Erices, 2014)

La aplicación correcta de los sistemas de Cogeneración depende principalmente de la relación entre la energía térmica/eléctrica, del tiempo de operación anual de los procesos a

los que se aplique y la variabilidad de la demanda eléctrica, entre otras. Los sistemas de cogeneración deberán ser diseñados para la cobertura de la demanda total ya sea térmica o eléctrica, de tal forma que, a diversas demandas, esta pueda ser cubierta en diversas condiciones de cogeneración, del mismo modo requiere de una normativa que le permita actuar con libertad y desarrollarse, así por ejemplo se puede cubrir la demanda eléctrica como base o la demanda térmica. (Rodríguez, 2002)

Los sistemas de cogeneración se diseñan según los requerimientos de cada empresa con la finalidad de cubrir sus necesidades energéticas a diferentes condiciones de carga térmica y eléctrica o diversos regímenes de producción teniendo en cuenta situaciones impredecibles. Para ello se presentan las siguientes alternativas para los modos de operación:

Cubrir la demanda eléctrica y requerimiento extra de combustible para cubrir la demanda existente de energía térmica.

Cubrir la demanda eléctrica y cubrir con la totalidad de la demanda térmica.

Cubrir la energía térmica y vender los excedentes de energía eléctrica a la red externa.

Cubrir la demanda térmica y comprar el déficit de energía eléctrica para satisfacer la totalidad de la demanda eléctrica. (Rodríguez, 2002)

Los sistemas de cogeneración representan en la actualidad una tecnología que permite obtener sustanciales ahorros de energía en el sector industrial, incrementando su productividad y competitividad. La implementación de los sistemas de cogeneración se presenta como una solución a los requerimientos de tener una energía confiable, de bajo costo y de calidad cercana a las instalaciones de consumo. (Rodríguez,2002)

## **B. Arreglos**

### **Sistemas superiores (Topping Cycles).**

Los sistemas superiores, son los sistemas de cogeneración de mayor uso en el cual la fuente de energía primaria (gas natural, petróleo BD5, Residual 500 o carbón u otro combustible similar) se emplea de forma directa en la producción de energía eléctrica por medio de la

generación de un fluido a alta temperatura que se utiliza para generar energía mecánica. A la salida del sistema de generación eléctrica se obtiene energía térmica tal como gases de la combustión calientes que se aprovechan como fluidos térmicos útiles en los procesos industriales así tenemos: secado, evaporación, destilación, cocinado, etc. Se emplean en la industria textil, petrolera, celulosa, papel, cervecera, alimenticia, azucarera, entre otras, para demandas térmicas en un rango de temperaturas de 250°C a 600°C. (Rodríguez, 2002)

En los sistemas superiores, la generación de energía eléctrica constituye el producto primario de la combustión del combustible. El calor residual existente en los gases de escape se aprovecha en el proceso productivo (por ejemplo, en una turbina de gas, o el vapor de extracción o escape en el caso de una turbina de vapor). Estos sistemas se utilizan ampliamente en diversos procesos industriales, tales como los utilizados en la industria de la celulosa y papel, química, textil, cervecera, azucarera, agroindustria, alimentos, así como otras que requieren vapor o agua caliente para realizar tales procesos. (Gonzales, 2010)

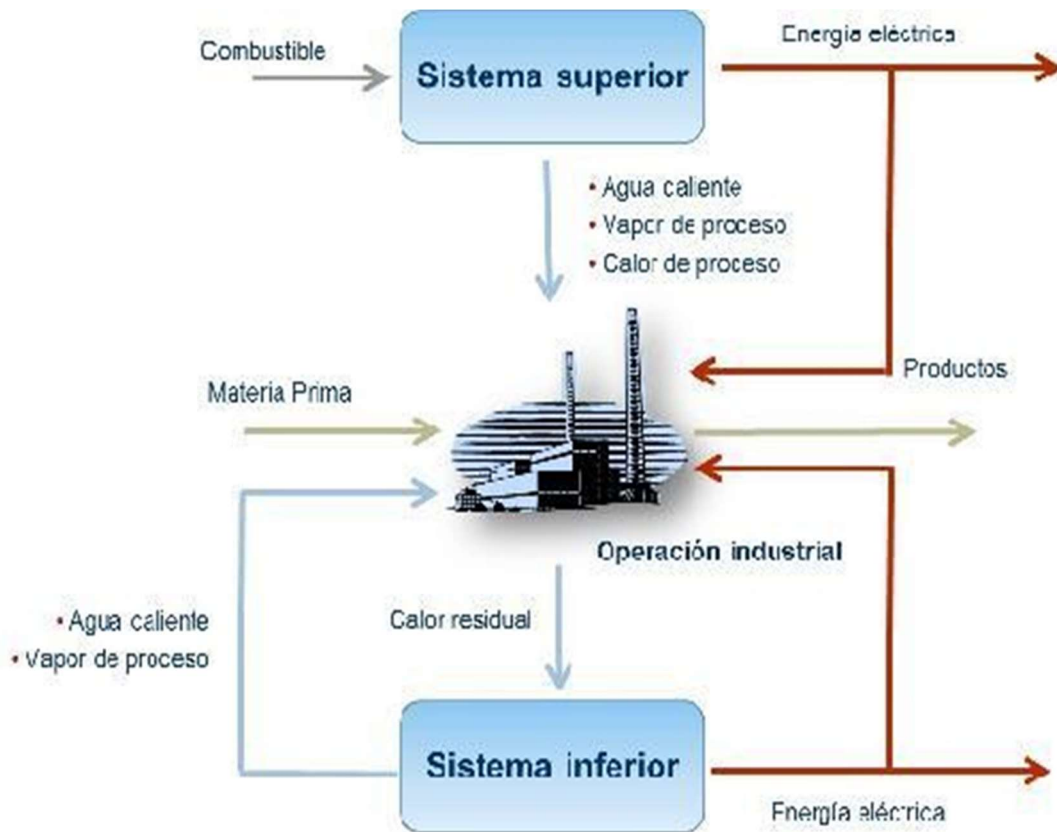


Figura 1 Arreglos de los sistemas de cogeneración

Fuente: Gonzales (2010)

### Sistemas inferiores (Bottoming Cycles).

En los sistemas inferiores, la energía primaria se utiliza de forma directa en la cobertura de la demanda directamente para satisfacer los requerimientos térmicos del proceso, mientras que la energía térmica remanente se emplea en la generación de energía eléctrica. Los ciclos inferiores están asociados con procesos industriales en los cuales los calores residuales están en el orden de los 800 °C y se emplean en las empresas del cemento, la siderúrgica, vidriera, química, etc. (Rodríguez, 2002)

Los sistemas inferiores, por otra parte, generan la electricidad a partir de la energía térmica no utilizada en los procesos industriales, como los gases calientes de escape de hornos o los gases combustibles. Estos sistemas tienen su principal aplicación en la industria del cemento, del acero, del vidrio y en algunas industrias petroquímicas y químicas. (Erices. 2014)

### C. Tecnologías de cogeneración

#### Cogeneración con turbinas de vapor.

Las turbinas de vapor son máquinas térmicas rotativas generadoras de potencia las cuales al ser acopladas a un generador eléctrico generan potencia efectiva, se les emplea en los sistemas de cogeneración, en donde el flujo de calor es un subproducto de la generación de electricidad. En este ciclo de potencia, el agua es impulsada a una determinada presión, luego se mezcla e ingresa al generador de vapor para obtener el vapor sobrecalentado necesario. Posteriormente, el agua se calienta hasta su temperatura de ebullición y usualmente es sobrecalentada por encima de esa misma temperatura.

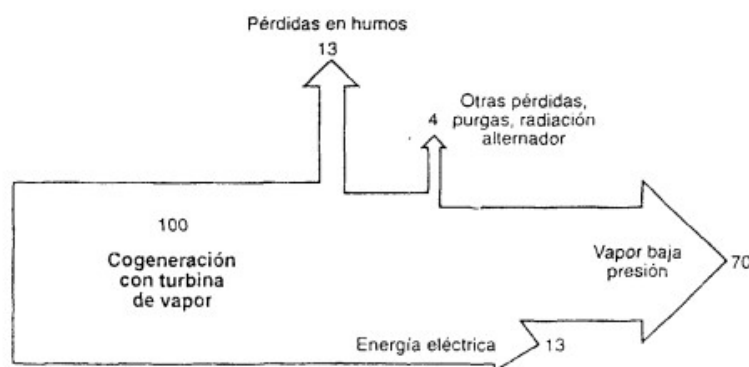


Figura 2 Flujo de energía en sistemas de cogeneración turbinas de vapor

Fuente: Rodríguez (2002)

El vapor presurizado se expande a una presión menor en una turbina de etapas múltiples y posteriormente se canaliza a un condensador que opera al vacío, o bien, a un sistema de distribución que entrega el vapor para su uso en una aplicación industrial o comercial. Finalmente, el condensado es recirculado a través de una bomba para la continuación del ciclo. Se clasifican en turbinas de vapor de condensación o contrapresión, con potencias desde 100 KW hasta 250 MW en ciclos superiores, como inferiores. (Chunga y Cam, 2013)

**Cogeneración con turbinas de gas.**

Las turbinas de gas siguen el ciclo de Brayton. El aire es aspirado de la atmósfera y comprimido mediante el compresor rotativo para conducirse a la cámara de combustión donde los productos de la combustión se expansionan a la turbina hasta la presión atmosférica. La energía eléctrica se obtiene a partir de un alternador acoplado, directamente o mediante un reductor, al eje de la turbina que aprovecha el trabajo neto del ciclo. Las turbinas de gas operan según el Ciclo de Joule Brayton simple y abierto. En este ciclo el aire del exterior es comprimido, luego combustiona con gas natural por lo general y los gases de la combustión se expanden en una turbina, generándose potencia efectiva para accionar el compresor y un alternador. La potencia efectiva generada es inyectada a la red o consumida en la misma entidad que la genera. (Chunga y Cam. 2013)

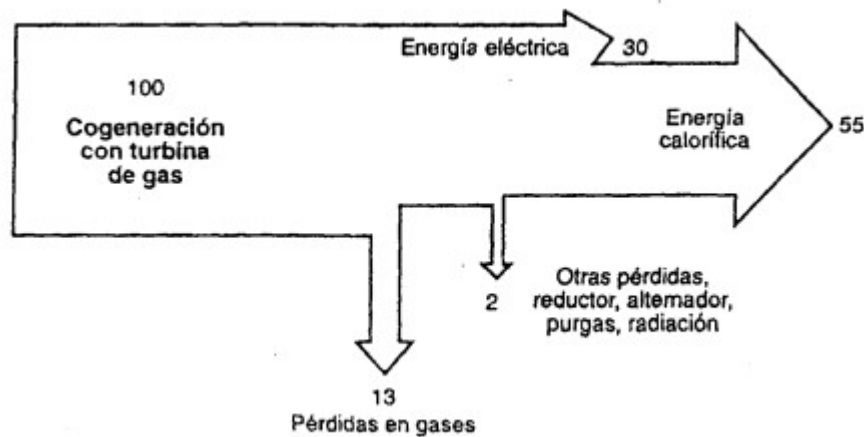


Figura 3 Flujo de energía en sistemas de cogeneración con turbinas de gas

Fuente: Rodríguez (2002)

Actualmente, existen diversas variaciones del ciclo de Brayton, por ejemplo, se puede disminuir el consumo de combustible mediante el precalentamiento del aire comprimido con los gases de escape de la turbina a través de un recuperador o regenerador; se puede reducir



el trabajo del compresor , y por ende, aumentar la potencia generada mediante etapas de inter o pre enfriamiento; o bien, se pueden utilizar los gases de escape para generar vapor y así generar electricidad adicional en un ciclo combinado. Generalmente se utilizan dentro de un sistema superior de cogeneración equipos desde 500 KW hasta 250 MW, con gas natural o biodiesel como combustible. (Chunga y Cam,2013)

**Cogeneración con motores de combustión interna.**

La tecnología de cogeneración con motores de combustión interna está asociados a la generación de energía eléctrica con grupos electrógenos, en el cual se aprovecha los remanentes de calor de los diversos sistemas conformantes del motor de combustión interna para la generación de vapor saturada hasta 2 bar o agua caliente sanitaria. Este sistema se caracteriza por tener una mayor relación energía eléctrica/calor generado, debido al bajo valor de la energía térmica remanente, aunque los gases residuales se encuentran a temperaturas entre 400°C a 500°C. La eficiencia de cogeneración alcanza valores similares a los desarrollados con turbinas de gas. Con los gases remanentes se puede generar vapor saturado a baja presión (alrededor de 1.5 a 2 bar<sup>1</sup>) o agua caliente a 80°C a 100°C. Tienen durante su operación una mejor flexibilidad debido a la facilidad con que pueden adaptarse a una determinada demanda variable, sin que ello signifique el incremento del consumo específico de combustible, esto se debe básicamente al tipo de combustible empleado. (Rojas, 2021)

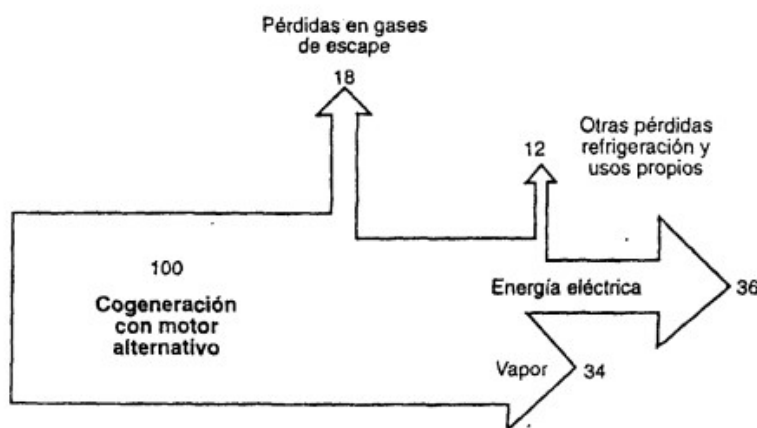


Figura 4 Flujo de energía en sistemas de cogeneración con m.c.i

Fuente: Rodríguez (2002)

## **D. Beneficios de la cogeneración**

El aprovechamiento del calor y electricidad generada caracteriza a la cogeneración y le permite operar con alta eficiencia y alto grado de utilización de la fuente primaria de energía empleada, en este caso el combustible. Las pérdidas por transporte de electricidad en los sistemas de cogeneración, al producirse la electricidad en el lugar donde se consume, son relativamente inferiores a las pérdidas técnicas en los sistemas convencionales. Las pérdidas permitidas en los sistemas de distribución oscilan entre 6.0 al 10.0% y tan sólo el 2.0% para las empresas que cogenen en sus mismas instalaciones. (Prias, 2010)

La cogeneración se presenta como una solución eficiente técnica y económicamente en función de las condiciones locales y nacionales, así como de las características de consumo de los cogeneradores. Dentro de los beneficios de esta tecnología radica en la recuperación del calor sensible desechado en la generación local de energía eléctrica, lo cual trae beneficios económicos en las plantas de cogeneración y ahorros en la facturación. La cogeneración en lugar de un suministro convencional de energía implica lo siguiente:

- Menores costos por reducción de compra de electricidad a la empresa distribuidora descongestionando la red de distribución.
- Ingresos extra en función a los mecanismos de promoción a la cogeneración: (primas, precio de compra, certificados de bonos reducidos, desgravaciones fiscales, subsidios cruzados, derechos de emisión gratuitos, entre otros.)
- Se presenta la oportunidad para prestar el servicio de suministrador de energía en el sistema eléctrica externo con lo cual en coordinación con el operador del sistema eléctrico ingresa al orden de despacho para cubrir una determinada demanda. Participando según el tipo de mercado en la regulación de frecuencia o como reserva rodante.
- Permite mejorar la imagen empresarial como consecuencia de mantener un suministro de energía sostenible a la red y a la reducción de CO<sub>2</sub> (reducción de consumo de energía primaria, uso de recursos energéticos renovables, implementación de la verificación de la huella de carbón en la mitigación de GEI, reducción de la contaminación del medio ambiente, etc.) (Jožef Stefan Institute, Energy Efficiency Centre, 2014)

## 2.2 COGENERACIÓN CON GRUPOS ELECTRÓGENOS

### 2.2.1 Grupos electrógenos

#### **Generalidades:**

Un grupo electrógeno es una máquina energética en el cual un generador eléctrico es accionado por un motor de combustión interna. El combustible de mayor uso en esos sistemas es el diésel N°2 o su equivalente, el cual es un combustible derivado del petróleo, Desde el año 2011, el diésel N°2 se comercializa con 5% de Biodiesel, que es un combustible renovable con el nombre BD5 o BD2 (para adiciones de 2% de Biodiesel), desde el año 2015 se empezaron a emplear en el país los grupos electrógenos con gas natural los cuales tienen un alto performance por su bajo costo de operación. Los grupos electrógenos son utilizados en zonas en donde existe un déficit de oferta de generación de energía para satisfacer una determinada demanda o debido a la inestabilidad de la red de distribución que ocasiona frecuentes cortes o interrupciones de energía. En el Perú no se tiene una legislación que obligue a tener a los centros consumidores de energía un grupo electrógeno de respaldo. (Cáceres, 2015)

Por lo general se les ubica en zonas geográficas donde no hay suministro de energía eléctrica, zonas rurales apartadas o lugares costeros o en zonas de selva de difícil acceso a la infraestructura de la red de transmisión. Muchas entidades y empresas han optado por instalar los grupos electrógenos como unidades de respaldo para cubrir condiciones de emergencia ante una posible interrupción de la energía eléctrica proveniente de la red externa, también en algunos casos se cuenta con pequeñas unidades fotovoltaicas como unidades de respaldo, pero limitadas a su baja potencia que pueden generar. (Cáceres, 2015)

Está compuesto básicamente por un motor de combustión de interna acoplado directamente a un generador eléctrico trifásico de corriente alterna ( también existen generadores de corriente continua y monofásicos), la energía calorífica es suministrada a través de un combustible , el cual a través de un proceso de transformaciones se obtiene energía eléctrica útil en bornes del generador.(Mendoza,

#### **Motores de combustión interna.**

Los motores alternativos de combustión interna (MCI) son máquinas térmicas estáticas que aprovechan la energía térmica proporcionada por un combustible, la cual se transforma en

energía lineal (mecanismo biela-manivela) y luego rotacional (eje cigüeñal) generando finalmente potencia mecánica en un eje. Generalmente emplean en su operatividad los ciclos termodinámicos: Otto y Diesel. Su rango de aplicación en cuanto a potencia eléctrica va de los 1 kW hasta los 25 MW. Son máquinas muy eficientes eléctricamente pero poco eficientes térmicamente, lo cual se compensa sobrealimentándolos. El sistema de recuperación de calor se diseña según los requerimientos de la industria y en general, se basan en la producción de vapor a baja presión (hasta 6 bar). (Gutiérrez, 2016)

Los motores de combustión interna con gas natural representan una tecnología moderna y certificada, estando presentes en la mayor parte de los sistemas de cogeneración para edificios y entidades sanitarias. Comercialmente se cuenta con capacidades que van desde 1 kW hasta 18 MW. A diferencia de los motores Diesel (donde la mezcla de aire y combustible líquido atomizado se comprime para alcanzar la temperatura de autoignición del combustible), los MCI con gas natural requieren de un sistema de ignición (bujías) para el proceso de combustión. Durante la reacción el frente de gases generados impacta sobre la cara del pistón, expandiéndose y desarrollando el pistón un movimiento lineal y cíclico, transfiriéndose la energía de expansión hacia el eje cigüeñal, el cual transforma el movimiento alternativo en rotacional y produciendo la potencia mecánica. (Ramirez,2012)

Los motores diesel son los más utilizados encontrándose para pequeñas y grandes aplicaciones de generación de potencia. Actualmente en muchos países este tipo de motores se encuentran restringido a condiciones de emergencia eléctrica, y está cada vez más limitada su participación en la generación a causa de las emisiones de CO<sub>2</sub>. En consecuencia, los motores de combustión interna a gas natural han adquirido una mayor presencia en el mercado de generación alcanzando el tipo continuo un funcionamiento de más 5,000 horas/año. Los motores a gas natural ofrecen un bajo costo en su adquisición, una rápida puesta en marcha, fiabilidad para un sencillo mantenimiento y una potencial recuperación del calor sensible residual. (Marimon, 2011)

En los motores de combustión interna, el circuito de refrigeración en las camisas que rodean a los cilindros y el circuito de aceite del motor presentan un potencial de recuperación de flujo de calor sensible del orden de 35 % para obtener agua caliente a temperaturas entre 80 y 100 °C. La energía térmica de los gases de combustión del motor representa alrededor de

un 30 a 50 % del calor residual del motor, con temperaturas promedio de los gases de escape entre 450 a 500 °C, pudiendo llegar en algunos casos a temperaturas superiores. Con un potencial total de recuperación del orden de 50 a 60 % de la energía del combustible. (Marimon,2011)

Sus ventajas más importantes son:

- El rendimiento de un MCI sobrealimentado es superior a otras tecnologías de generación, con un valor entre 50-47%
- Adaptable a una variedad de combustibles líquidos y gaseosos.
- De alta fiabilidad ( baja probabilidad de falla), Presenta un alto rendimiento incluso a cargas parciales y se adapta con facilidad a la variación constante de la demanda, rapidez de la modulación de cargas..
- Alta relación de cogeneración electricidad/calor.
- Energía térmica distribuida en su estructura.
- Rápido arranque y tiempo de vida útil alto en instalaciones con alto porcentaje de numero de paradas y arranques.
- Inversión específica relativamente baja en el orden de 200 a 600 U\$/KW
- Adaptable a variaciones bruscas de demanda. (Gutiérrez, 2016)

Como inconvenientes, en cambio:

- Requieren de un sistema de refrigeración para compensar las altas temperaturas en la zona de la culata y cilindro.
- Para altas potencias superiores a 100 KW se requiere de un sistema de enfriamientos del aceite lubricante del sistema de lubricación del motor. Generalmente se instalan torres de enfriamiento externos.
- Presenta fuerzas internas no equilibradas, que requieren de bancadas robustas para soportar las cargas dinámicas y vibración. Para este caso requieren de un sistema de anclaje, fijación y disipación de esfuerzos.
- Alto nivel de ruido, superior a 80 dB, compensado por grupos electrógenos encapsulados. (Gutiérrez, 2016)

### **Generador eléctrico trifásico.**

Un generador es una máquina eléctrica rotativa que transforma la energía mecánica en energía eléctrica. Se lo consigue gracias a la interacción de los dos elementos principales que lo componen: la parte móvil llamado rotor, y la parte estática que se denomina estator. Cuando un generador eléctrico está en funcionamiento, una de las dos partes genera un flujo magnético (actúa como inductor) para que el otro lo transforme en electricidad (actúa como inducido). Se clasifican en dos grupos de máquinas eléctricas rotativas: los alternadores y los dinamos. El elemento inductor es el rotor y el inducido el estator. (Soto,2017)

Los generadores utilizados son del tipo síncrono, con protección para salpicaduras. Su sistema de excitación y componentes varían de acuerdo con las características de cada equipo y demanda a cubrir. El alternador puede ser tanto con escobillas o sin escobillas. El sistema más empleado es aquel que no emplea escobillas, con lo cual no es necesario el mantenimiento adicional relacionado con las escobillas y anillos colectores, con lo cual resulta más confiable y práctico. En Perú la frecuencia utilizada es 60 Hz, por lo cual los generadores que deban instalarse deberán cumplir con lo establecido por el código nacional de electricidad. En lo referente a las variables físicas, la tensión de salida del generador se determina realizando una conexión entre sus devanados. El fabricante deberá indicar el tipo de conexión requerida, para el caso de que sea necesario diferentes tensiones de salida desde el generador. Con lo cual se asegura la flexibilidad en la operación, permitiendo al generador eléctrico el suministro de potencia a la carga requerida, mejorando el desempeño del grupo electrogeno. (Soto, 2017)

El principio de funcionamiento del generador eléctrico se basa en el fenómeno de inducción electromagnética o ley de Faraday. El voltaje inducido dentro de un circuito es directamente proporcional a la variación del flujo magnético en un conductor o en una espira. Quiere decir que si se cuenta con un campo magnético que genera un flujo magnético, es necesario contar con una espira a través del cual fluya una corriente para conseguir que se genera la fuerza electromotriz. El disco de Faraday consiste en un imán en forma de U, con un disco de cobre de 12” de diámetro y 1/5” de espesor colocado sobre un eje, el cual gira dentro de un potente electroimán. Al colocar una banda conductora rozando el exterior del disco y otra banda sobre el eje, comprobó con un galvanómetro que se producía electricidad mediante imanes permanentes. (Ponce y Montufar,2014)

Los generadores de corriente alternan o alternadores son máquinas que transforman energía mecánica, que reciben por el rotor, en energía eléctrica en forma de corriente alterna. La mayoría de alternadores son máquinas de corriente alterna síncrona, que son las que giran a la velocidad de sincronismo, que está relacionada con el número de polos que tiene la máquina y la frecuencia de la fuerza electromotriz. (Ponce y Montufar,2014)

### **Tipos.**

#### **➤ Grupo electrógeno de emergencia o stand by.**

Es un grupo electrógeno de emergencia ante cargas variables, con un factor de uso de 500 horas/año. Este tipo de maquina no contempla la capacidad de operar en sobrecarga; también está restringido su uso para generación de energía en plantas de generación de emergencia. (Cuenca y Henríquez, 2012)

La capacidad de potencia en Standby se aplica para generación de energía eléctrica de emergencia y no dispone de la capacidad de sobrecarga sostenida (equivalente a Potencia de Parada de acuerdo con las normas internacionales ISO3046, AS2789, DIN6271 y BS5514. Este tipo de grupo electrógeno se emplea en instalaciones a las que les da servicio una fuente de servicio público como unidad de emergencia para suplir la falta de suministro un periodo corto de tiempo. Posee un factor de carga promedio de 70% durante su operación anual y puede operar a máxima capacidad continua de 100 % tan solo por un máximo de 200 horas de operación/año. La potencia Standby sólo es aplicable en emergencia y en condiciones de respaldo a la generación ante interrupciones breves o programadas del servicio de energía eléctrica de un distribuidor. Con esta capacidad no se permite la operación sostenida en paralelo con el servicio. En aquellas aplicaciones que sea necesario una operación sostenida en paralelo o no con el servicio externo , deberá utilizarse la capacidad de potencia primaria para el modo de carga base. (Mendoza, 2017)

#### **➤ Grupo electrógeno prime.**

Es la potencia nominal que un grupo electrógeno puede suministrar bajo condiciones de carga variable por un número ilimitado de horas al año, este régimen de operación incorpora una capacidad de generar 10% de sobrecarga en relación a su máxima potencia , por un

periodo máximo de 2 horas/día. El tiempo de operación entre 100% y 110% no deberá excederse al 8% del tiempo total de operación. El promedio de la potencia entregada no debe exceder del 70% de la potencia nominal. El régimen prime está restringido para uso de generación, y no es adecuado emplearlo en autogeneración para demandas industriales intermitentes. Este grupo electrógeno se utiliza normalmente como respaldo durante el periodo de horas punta. (Cuenca y Henríquez, 2012)

➤ **Grupo electrógeno continuo.**

Grupo electrógeno con potencia máxima para cargas no variables del 100%, utilizada sin límite de tiempo. No admite sobrecarga. Factor de utilización 100%. Potencia LTP de acuerdo con ISO8528, ISO 3046/1, AS2789, DIN 6271 y BS5514. Las instalaciones para carga de base continua usan generación en-sitio para suministrar energía (kWh) constante o variable en paralelo a la red según lo planificado para cada instalación, o en modo isla en los casos de no contarse conexión eléctrica a red externa. También son ideales para operar en sistemas de cogeneración en centrales de cogeneración como planta de carga base. (Mendoza, 2017)

**Desempeño.**

El desempeño de un grupo electrógeno se evalúa según las ecuaciones desarrolladas por la tesis de Mendoza (2017).

Potencia térmica suministrada al motor de combustión interna: Esta referido aquella potencia térmica que se suministra con el combustible y es función al producto del flujo masico del combustible y su poder calorífico inferior a través de la reacción de combustión dentro de la cámara del cilindro. Se evalúa según la ecuación:

$$P_{sum} = \dot{m}_c * PCI \dots \dots \dots (1)$$

$\dot{m}_c$  = Flujo masico del combustible.

PCI = Poder calorífico inferior del combustible

Potencia efectiva del generador: Es aquella potencia medida en bornes del generador eléctrico, y evaluado según la ecuación siguiente:



$$P_{ef} = v * i * \cos\theta * \sqrt{3} \dots\dots\dots (2)$$

Dónde:

v = Tensión de fase (voltios)

i = Corriente de línea (amperios).

cosθ = Factor de Potencia del grupo electrógeno (valor entre 0.85 a 0.9 , según los diseños del fabricante)

El rendimiento de planta, compara la potencia eléctrica efectiva generada por el generador eléctrico y la potencia térmica suministrada por el combustible al motor de combustión interna. Se evalúa según la siguiente ecuación:

$$\eta_{planta} = \frac{P_{ef}}{P_{sum}} * 100 \% \dots\dots\dots (3)$$



$$\eta_{planta} = \eta_{ge} * \eta_{mci}$$

Figura 5 Rendimiento de planta en un m.c.i

Fuente: Elaboración propia (2021)

η<sub>mci</sub> = Esta referido al rendimiento del m.c.i

η<sub>ge</sub> = Esta referido al rendimiento del generador eléctrico

**TASA DE CALOR O HEAT RATE:** Es un indicador de desempeño energético que compara el flujo másico de combustible con la potencia efectiva generada por la central

termoeléctrica, también denominada como consumo específico efectivo. El valor del Heat Rate será óptimo cuando tenga el menor valor de un conjunto de valores. (Mendoza, 2017)

Se evalúa con la siguiente ecuación:

$$\text{Heat Rate} = \frac{\dot{m}_c}{P_{ef}} \dots \dots \dots (4)$$

Costo variable combustible CVC: Según la normativa eléctrica peruana, se le define como el costo relacionado al consumo de combustible empleado durante la operación de la central termoeléctrica. Se determina por el producto del Heat Rate a plena carga con el costo unitario del combustible.

$$C. V. C = \text{Heat Rate} * \text{Precio Unitario del Combustible} \dots \dots (5)$$

### 2.2.2 Cogeneración con grupos electrógenos

Los motores de combustión interna son unidades de generación de mayor empleo en la cogeneración orientada para implementarse en los centros de salud, hoteles u otra empresa de servicio, utilizan combustibles gaseosos y líquidos, su rendimiento promedio es de 30% para sistemas con aspiración natural, y 50-45% para motores sobrealimentados. Se presentan los siguientes circuitos de recuperación del calor:

- Enfriamiento del aire de combustión en intercooler para motores turboalimentados.
- Circuito de enfriamiento del aceite del sistema de lubricación del motor (en torno a 70-80°C).
- Circuito de enfriamiento del agua de refrigeración del motor (en torno a 100-90°C).
- Circuito de gases de escape (entre 450-550°C), el cual representa el principal sistema a recuperar su calor sensible.

Las configuraciones para un sistema de cogeneración son habitualmente empleados para la generación de agua caliente y vapor a baja presión. (Castro y Salazar, 2010)

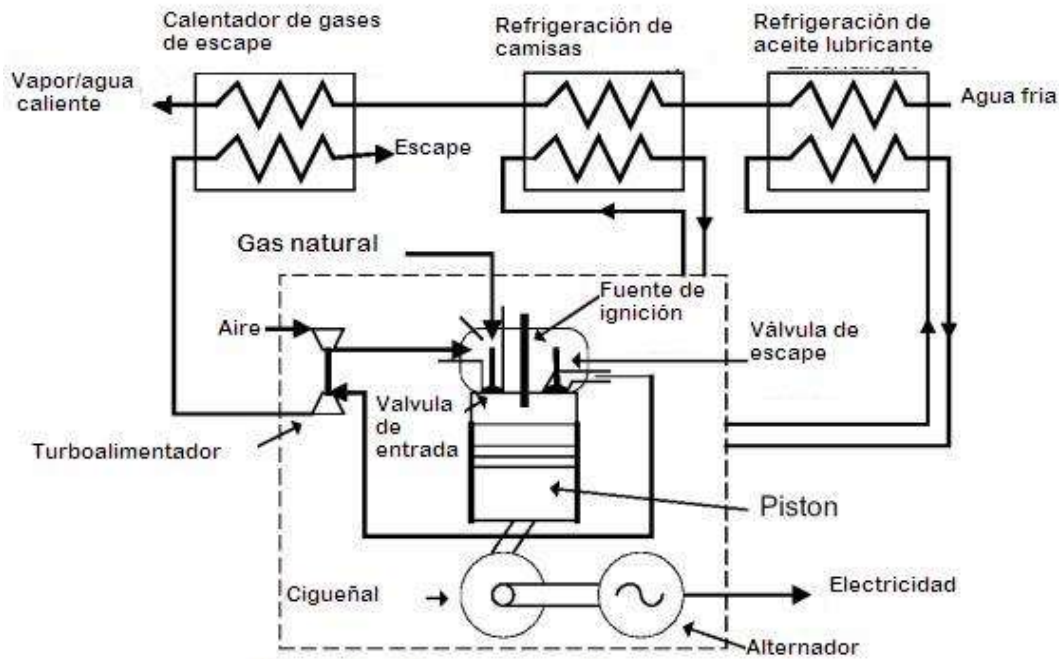


Figura 6 Flujo de fluidos principales en un motor alternativo

Fuente: Renovetec (2020)

Los sistemas de Cogeneración con motores de combustión interna se caracterizan en lo siguiente:

- Baja inversión.
- Consumo de agua de enfriamiento en función a la potencia del motor.
- Alto rendimiento de planta.
- Generación de agua caliente sanitaria.
- Operación flexible en generación eléctrica, pero la demanda térmica depende frecuentemente de la generación eléctrica.
- Alta relación electricidad/calor útil.
- Mediana emisión de contaminantes.
- Rápido periodo de Tiempo de arranque.
- Requiere poco espacio para su instalación.
- Instalación menor a 1 año.
- Capacidad desde 1 kW.
- Se emplean en procesos con baja relación calor / electricidad.. (Rodríguez, 2002)

La eficiencia eléctrica en MCI es superior a la que puede obtenerse con cualquier otra tecnología, a excepción de las pilas de combustible. A continuación, se indican algunos valores medios de las prestaciones energéticas de los motores de gas para cogeneración:

Rendimiento eléctrico: 39%

Rendimiento térmico:

- Recuperación de calor del circuito de refrigeración del aceite: 4%.
- Recuperación de calor del circuito de refrigeración de cilindros: 22%.
- Recuperación de calor de los gases de escape enfriados hasta 110°C: 22%.
- Recuperación de calor de los gases de escape enfriados hasta 145°C: 20%.
- Recuperación de calor de los gases de escape enfriados hasta 200°C: 16%.

De esta forma, un sistema de rendimiento eléctrico medio como el anterior que, además de generar energía eléctrica, recupere el calor del circuito de refrigeración del motor y recupere calor de los gases de escape hasta una temperatura de unos 145°C tendrá una eficiencia global de un 81%. (Gobierno de la Isla Baleares, 2010)

El fin de los intercambiadores de calor es el recuperar la mayor cantidad posible de energía térmica. La recuperación de la energía térmica generada es mediante los circuitos de refrigeración de las camisas, el circuito de agua de enfriamiento, el de baja temperatura, el aceite refrigerante (al ser poca la energía disponible no se recupera) y los gases de escape. Por lo general se emplean los sistemas de cogeneración para generación de vapor a baja presión o agua caliente sanitaria. (Cogenera México, 2019)

### **2.2.3 Sistemas de recuperación de calor sensible**

Un recuperador es un intercambiador de calor que permite la recuperación del calor sensible de los gases de salida del múltiple de escape y la transforma en energía en forma de agua caliente o vapor saturado para ser utilizada dentro del sistema. Un regenerador o recuperador de calor es un equipo térmico que también transfiere energía de los gases de salida al aire de la combustión, pero, en este caso, es un medio de almacenamiento de energía calorífica, están fabricados de materiales cerámicos o acero corrugado, está en la capacidad de soportar la temperatura de los gases de salida y enfriado por el aire fresco. (Rojas, 2007)

La recuperación de calor en los motores de combustión interna es posible llevarla a cabo en:

### **a. Gases de escape.**

El múltiple de escape de un motor de combustión interna está formado principalmente por tubos que conducen los gases de combustión desde el cilindro y válvulas de escape hacia el ambiente. Dependiendo de cada motor de combustión interna el sistema de escape presenta diversas características, siendo los principales componentes, el colector de escape, el turbocompresor, si lo hubiera, el convertidor catalítico, el filtro para partículas si se trata de un motor a gas y el silenciador. El objetivo del múltiple de escape no solo es evacuar los productos de combustión, sino que es responsable directo de parte de la potencia disponible del motor de combustión interna. El diseño de estos sistemas es de sumo cuidado, si el sistema tiene muchos elementos puede oponer resistencia al flujo de los gases de la combustión, con lo cual rendimiento del motor se reduce, y de otro lado si deja salir con rapidez los gases de la combustión, puede generar un vacío en el sistema, generando la pérdida de potencia mecánica, por tanto, con un buen diseño se puede optimizar el vaciado de los cilindros aprovechando las ondas pulsativas del propio sistema. (Saura, 2015)

Los gases de la combustión del motor tienen temperaturas alrededor de los 450-500°C. El aprovechamiento de este calor sensible se realiza enfriando los gases hasta temperaturas del orden de 180 °C cuando se utilizan combustibles líquidos derivados del petróleo que presentan problemas de corrosión por lluvia ácida a temperaturas cercanas a 100°C y en el caso que se utilice gas natural (carente de azufre y en consecuencia sin limitación por punto de rocío ácido, 54 °C) se pueden reducir los gases de la combustión hasta 110 °C, obteniéndose un mayor potencial de calor por recuperar. En estas últimas condiciones se pueden recuperar cerca de 0,45 kWh/kWh eléctrico generado. (Erices, 2014)

Los motores de combustión interna producen gases de la combustión durante el proceso de generación de potencia. El múltiple de escape va acoplado al ducto de salida de los gases de la combustión, en el cual va instalado un lavador de gases y filtros de partículas, con lo cual se asegure un menor impacto de los gases de la combustión sobre el ambiente que los rodea. Este sistema se compone de una serie de ductos que expulsan los gases a la mayor altura posible y lejos del recinto donde se encuentra instalado el grupo electrógeno. (Soto, 2017)

La temperatura de los gases de escape expulsados por los motores de combustión interna liberados por los motores es inferior al valor de los gases a la salida de las turbinas a gas. Por lo

tanto los motores Diesel ofrecen condiciones para realizar el proceso de secado de materias primas, para calefacción en ambientes fríos de espacios o en aplicaciones que requieran vapor de baja presión, en conjunto con una caldera de recuperación. Si el contenido de oxígeno es suficientemente alto en el escape de equipo Diesel, también puede usarse para calentar el aire de combustión de calderas. Para casos de precalentamiento suplementario de la caldera recuperadora en aplicaciones que requieran mayores temperaturas de vapor, esto producirá una reducción del rendimiento del sistema. (Cifuentes, 2011)



Figura 7 Recuperador de calor de gases de la combustión

Fuente: Renovetec (2020)

#### **b. Agua de refrigeración del motor.**

Los sistemas de refrigeración se clasifican de acuerdo al tipo de elemento utilizado para enfriar el motor, pues en algunos casos es líquido y en otros es por aire. Se trata de un sistema un poco complejo a través del cual circula el líquido refrigerante o anticongelante. Hay que tener claro que la temperatura ideal de un motor oscila entre los 80° C y los 105°C, dependiendo del tipo de motor y el fabricante del mismo. Al operar el sistema a presiones más altas, normalmente en el rango de 7-16lb/pulg<sup>2</sup>, se eleva el punto de ebullición hasta 120 °C o a valores mayores, el refrigerante no hervirá ni perderá eficiencia a las temperaturas normales de operación del motor de 82-110°C. La presión se controla mediante el tapón de presión del radiador o el tanque de recuperación. Como los motores de combustión interna no operan de manera eficiente o emitiendo gases en términos de emisiones hasta que alcanzan la temperatura de plena carga, un termostato en el sistema restringe el flujo de refrigerante hasta que las temperaturas de éste lleguen al rango normal. (Ramírez, 2016)

La temperatura es un factor que incide sobre la eficiencia de todo el sistema y sus elementos y etapas de operación del grupo electrógeno, al igual que en su vida útil. Es por ello muy importante el control de la temperatura durante la operación, de tal forma que no existe en algún momento un sobrecalentamiento en el grupo electrógeno, que pueda deteriorar ciertos componentes metálicas al someterse a esfuerzos mecánicos a alta temperatura. Es muy importante por lo tanto el adecuado desempeño del sistema de enfriamiento, el cual incluya la tarea que deberá realizarse en el radiador ventilador para poder disipar el calor absorbido por el agua del sistema de refrigeración, para sistemas mayores se incluye bombas adicionales y un radiador externo en forma de torre de enfriamiento para el agua. El sistema de enfriamiento cuenta con radiadores, ventiladores y un sistema de circulación que permite el movimiento ya sea del agua o del aceite a través de ciertos componentes del motor para asegurar que su temperatura no alcance valores que resulten perjudiciales para el grupo. (Soto, 2017)

En los motores refrigerados por agua, es posible recuperar la mayor parte del calor de refrigeración del agua del motor en las camisas, pudiendo obtener 0,5 a 0,8 kWh térmicos por cada kWh eléctrico generado. (Gonzales, 2010)

**c. Aceite de lubricación del motor.** Una parte del calor recuperado puede obtenerse también a partir del aceite de lubricación del motor. El sistema de lubricación del motor es un sistema que se encarga de distribuir el aceite a todas las partes móviles dentro del motor con el fin de evitar el sobrecalentamiento por fricción entre piezas metálicas móvil en contacto y del mismo modo reducir la fricción entre ambas superficies. Gracias a este, el motor puede conservarse y alcanzar la vida útil prevista, pero si este fallase, entonces el motor estaría propenso a sobrecalentarse y fundirse ciertos componentes, con lo cual es motor quedaría fuera de servicio, y en muchos casos inutilizado. La bomba de aceite se encuentra en la parte inferior del motor y se encarga de extraer el aceite para llevarlo al filtro con el fin de eliminar cualquier tipo de contaminante. Luego, el aceite es forzado hacia los cojinetes principales y al medidor de presión. Desde los cojinetes principales, el aceite circula a través de conductos perforados en el cigüeñal en dónde se dispersa y lubrica las paredes del cilindro, los cojinetes de los pistones y otros componentes móviles del motor. Finalmente, el enfriador del aceite lubricante cumple la función de disipar el calor absorbido por el aceite, esta operación puede realizarse con agua o mediante aire. (KIA Motors, 2020)

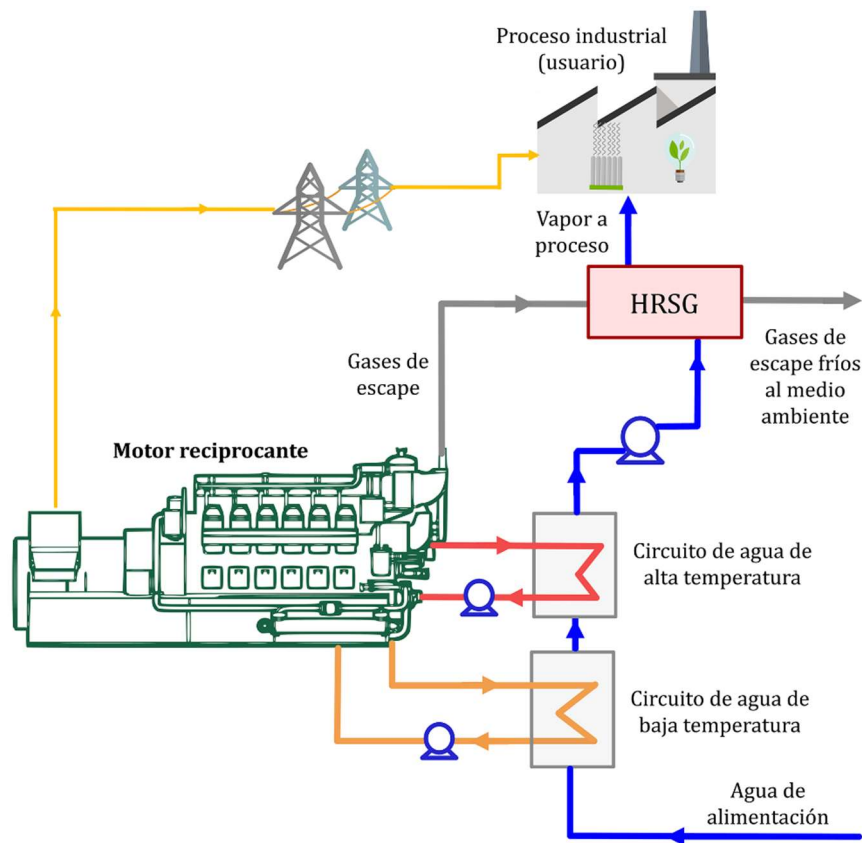


Figura 8 Disposición de sistemas de recuperación de calor

Fuente: Cogenera México (2019)

Los gases de combustión salientes de los cilindros, salen por el múltiple de escape producto de la explosión que se lleva a cabo en los cilindros del motor, salen a una temperatura entre 450 °C y 550 °C. Este flujo de calor puede ser recuperado mediante intercambiadores de calor agua/gases y representan entre un 20% a 35% de la energía suministrada por el combustible. Los motores para que operen en condiciones óptimas, requieren de dos sistemas de enfriamiento. Uno de ellos opera en un rango de temperaturas entre 85 °C y 99 °C, mientras el otro entre 70 °C a 40 °C dependiendo del diseño del motor. Estos sistemas de refrigeración enfrían los cilindros del motor, el aceite lubricante y el aire comprimido de entrada (intercooler o aftercooler). Este flujo de calor que se disipa del motor hacia el medio ambiente, se utiliza en los sistemas de cogeneración mediante intercambiadores de calor y representa entre un 25% a 35% de la energía suministrada por el combustible al motor. (Santana, 2009)



De manera global las ecuaciones que rigen los sistemas de recuperación de calor para sistemas de cogeneración con un grupo electrógeno son las siguientes:

Para la etapa de recuperación de calor del sistema de lubricación:

$$Q_{SL} = \dot{m}_{AL} * Cp_{AL} * (T_2 - T_1)_{AL} \dots \dots \dots (6)$$

$$Q_{AS} = \dot{m}_{AS} * Cp_{AS} * (T_f - T_i)_{AS} \dots \dots \dots (7)$$

$$\text{Se cumple que } Q_{SL} = Q_{AS} \quad (8)$$

Donde:

$Q_{SL}$  , esta referido al flujo de calor disponible del sistema de lubricación.

$\dot{m}_{AL}$  , flujo masico de aceite lubricante.

$Cp_{AL}$  es el calor especifico a presión constante del aceite lubricante

$(T_2 - T_1)_{AL}$  Variación de temperatura de entrada y salida del aceite en el sistema de lubricación en el m.c.i

$Q_{AS}$  , esta referido al flujo de calor absorbido por el agua sanitaria en el sistema de recuperación de calor del sistema de lubricación.

$\dot{m}_{AS}$  , flujo masico de agua.

$Cp_{AS}$  es el calor especifico a presión constante del agua

$(T_2 - T_1)_{AS}$  Variación de temperatura de entrada y salida del agua sanitaria en el sistema de recuperación de calor del sistema de lubricación en el m.c.i

Para la etapa de recuperación de calor del sistema de enfriamiento:

$$Q_{SE} = \dot{m}_{AE} * Cp_{AE} * (T_2 - T_1)_{AE} \dots \dots \dots (9)$$

$$Q_{AS2} = \dot{m}_{AS} * Cp_{AS} * (T_f - T_i)_{AS2} \dots \dots \dots (10)$$

Donde:

$Q_{SE}$  , esta referido al flujo de calor disponible del sistema de enfriamiento.

$\dot{m}_{AE}$  , flujo masico de agua de enfriamiento.

$Cp_{AE}$  es el calor especifico a presión constante del agua.

$(T_2 - T_1)_{AE}$  Variación de temperatura de entrada y salida del agua en el sistema de enfriamiento del m.c.i

$Q_{AS2}$ , esta referido al flujo de calor absorbido por el agua sanitaria en el sistema de recuperación de calor del sistema de enfriamiento.

$\dot{m}_{AS}$ , flujo masico de agua sanitaria

$Cp_{AS}$  es el calor especifico a presión constante del agua

$(T_f - T_i)_{AS2}$  Variación de temperatura de entrada y salida del agua sanitaria en el sistema de recuperación de calor del sistema de enfriamiento del m.c.i

$$\text{Se cumple que } Q_{SL} = Q_{AS2} \quad (11)$$

Para la etapa de recuperación de gases de la combustión:

$$Q_{GC} = \dot{m}_{GC} * Cp_{GC} * (T_2 - T_1)_{GC} \dots \dots \dots (12)$$

$$Q_{AS3} = \dot{m}_{AS} * Cp_{AS} * (T_f - T_i)_{AS3} \dots \dots \dots (13)$$

Donde:

$Q_{GC}$ , esta referido al flujo de calor disponible del sistema de escape de gases de la combustión.

$\dot{m}_{GC}$ , flujo masico de gases de la combustión.

$Cp_{GC}$  es el calor especifico a presión constante de los gases de la combustión.

$(T_2 - T_1)_{GC}$  Variación de temperatura de entrada y salida de los gases de la combustión salientes del m.c.i

$Q_{AS3}$ , esta referido al flujo de calor absorbido por el agua sanitaria en el sistema de recuperación de calor de gases de la combustión.

$\dot{m}_{AS}$ , flujo masico de agua sanitaria

$Cp_{AS}$  es el calor especifico a presión constante del agua

$(T_3 - T_2)_{AS3}$  Variación de temperatura de entrada y salida del agua sanitaria en el sistema de recuperación de calor de gases de la combustión del m.c.i

$$\text{Se cumple que } Q_{SL} = Q_{AS} \quad (14)$$

#### **d. Caldera de recuperación.**

Los gases de combustión a la salida del motor debido a su temperatura presentan un calor sensible a ser recuperados. Uno de los métodos de aprovechar este calor residual, es mediante la instalación de una caldera recuperadora que genere vapor a baja presión para diversos procesos de calentamiento dentro de la entidad tal como esterilizado, secado, lavado, entre otros. Conceptualmente, una caldera de recuperación es un intercambiador de calor donde se produce el intercambio de calor sensible entre los gases de combustión caliente y el agua a evaporar. La diferencia esencial entre una caldera de recuperación y un intercambiador de calor, radica en que este último no puede generarse un cambio de fase del agua, limitándose tan solo a un incremento de temperatura o aprovechamiento de calor sensible , mientras que en un caldero ocurre un cambio de calor latente y la vaporización del agua. (Gutiérrez, 2016)

Una caldera es un equipo isobárico, donde el flujo suministrado por un combustible se transforma en energía térmica útil a través de un fluido caloportador en fase líquida o vapor. Las calderas que se utilizan en las plantas de cogeneración permiten la recuperación del calor sensible de los gases de combustión (motor de combustión interna o turbina de gas). En ellas se calienta agua, que se convierte en vapor y que se utiliza para los diversos procesos dentro de una empresa , o en este caso dentro de un centro de salud. (Renovetec, 2021)

### **2.3 DEMANDA DE AGUA CALIENTE SANITARIA ACS**

La estructura organizacional básica de un hospital según el Reglamento General de Hospitales del Sector Salud (DS. N° 005-90-SA)<sup>1</sup> se puede enmarcar en: Área de atención, Área de servicios comunes y Área de servicios auxiliares. La demanda energética dependerá que tan desarrolladas se encuentran las áreas para cumplir con los servicios que presta el hospital. Ello dependerá del grado de complejidad, número de camas y ámbito geográfico de acción, criterios establecidos en la clasificación de hospitales según Decreto Supremo N° 005-90-S.A. (Minen, 2014)

Los sistemas de generación de Agua Caliente Sanitaria son aquellos que distribuyen agua químicamente tratada para ser consumidos dentro de un hospital. Los elementos que constituyen un sistema de agua caliente sanitaria son:

Generador de vapor o agua caliente. En algunas instalaciones, típicamente las de menor tamaño, se utilizan calderas o calentadores que actúan calentando directamente el agua. En las instalaciones de mayor tamaño se usan intercambiadores de calor, diferenciándose el circuito de ACS del circuito de agua de caldera.

Red de suministro: conjunto de tuberías que transportan el agua atemperada o vapor saturada a baja presión a los puntos de consumo.

Acumulador: depósito o depósitos que almacenan el agua caliente, incrementando la inercia térmica del sistema y permitiendo la utilización de generadores de calor de potencia inferior a la demanda máxima puntual del sistema.

Elementos terminales: grifos, duchas que nos permiten el uso y disfrute del ACS.

Centro de consumo tal como marmitas, esterilizadores, planchadoras, secadores entre otros equipos utilizados en hospitales. (Ministerio de Salud, España)

En los circuitos de agua caliente sanitaria la temperatura se mantiene entre los 60 a 100 °C, dentro de sus redes de consumo o en depósitos acumuladores de agua caliente debidamente aislados. Las variaciones en la demanda de agua caliente, requiere de un sistema de gestión que permitan mantener un margen acumulado de agua para poder satisfacer la demanda en forma instantánea. El agua caliente sanitaria se obtiene mediante el calentamiento indirecto en intercambiadores de calor, en donde un fluido caliente cede su calor sensible al agua o también se realiza en calentadores eléctricos (los cuales presentan un alto costo operativo). Para que un sistema de preparación de agua caliente sanitaria cumpla satisfactoriamente con su función, es esencial que se suministre una potencia calorífica suficiente ya sea en forma de calor de reacción de un combustible o calor sensible de gases calientes a alta temperatura, compensada por una acumulación térmica del caso para prevenir casos de variación de la demanda. (Gobierno de España, 2003)

Los sistemas de producción centralizado conlleva a tener un conjunto de instalaciones necesarias para la producción de agua caliente sanitaria, su almacenamiento en depósitos aislados térmicamente y las redes de distribución hasta los puntos de consumo, con lo cual se tiene una instalación compuesta por una serie de elementos, unido a una red de tuberías ampliamente ramificadas por todo el centro de consumo de agua caliente (hoteles, edificio, centros de salud, lavanderías) y con una temperatura de agua caliente tal que el conjunto puede constituir una instalación propicia para la proliferación de Legionella. La producción

centralizada de agua caliente sanitaria se obtiene en términos genéricos, mediante el intercambio de calor entre un fluido caliente primario (gases de la combustión o calor de reacción de un combustible) y un circuito secundario recorrido por agua, que tras calentarse a la temperatura requerida, constituye el agua caliente sanitaria. Para ello se emplean intercambiadores de calor, que son dispositivos térmicos isobáricos utilizados para el intercambio de energía térmica de un fluido a otro. (Gobierno de España, 2003)

El intercambiador de calor tiene la limitación en la temperatura del agua caliente sanitaria producida dependiendo el caudal del requerimiento de la demanda en planta, por lo que cuando la demanda es grande, se debe prever un stock de agua caliente almacenada para cubrir ese requerimiento. La producción centralizada de agua caliente sanitaria con acumulación, permite disponer de un volumen de reserva para compensar la demanda de un determinado momento y mantener la temperatura del agua en el valor requerido. Un tipo de intercambiador muy extendido en su aplicación es el de tipo multitubular, que está fabricado por un haz tubular, en cuyo interior circula el agua caliente primaria (calentada mediante caldera), colocado en el interior de una carcasa cilíndrica, circulando el agua a calentar por el espacio existente entre el haz tubular y la carcasa. Para disponer de un volumen de reserva de agua caliente sanitaria, el haz tubular se instala dentro de un depósito donde el agua además de calentarse, se almacena, obteniéndose el volumen de reserva para compensar la demanda. (Gobierno de España, 2003)



Figura 9 Lavadoras con agua caliente sanitaria

Fuente: Gobierno España (2003)

**Servicio de lavandería.** La lavandería del Hospital Regional es de tipo institucional, ya que está destinado tan solo para cubrir la demanda dentro del centro de salud. Los equipos usados

en este servicio son lavadoras, secadoras, planchadoras y centrifugas eléctricas. Las lavadoras a vapor son artefactos térmicos usadas para lavar y desinfectar las prendas de los pacientes del Hospital Regional. El funcionamiento de la máquina es la siguiente: la correa de transmisión transfiere la potencia mecánica generada en el motor eléctrico a la parte superior del tambor interior, este último permite el movimiento interno dentro de la lavadora. Las secadoras constan de un serpentín de calentamiento en la parte superior por donde circula el vapor saturado mientras que aire a temperatura, presión y humedad ambiental ingresan mediante el accionamiento de un ventilador ubicado en la parte inferior del secador el cual obliga al aire de ingreso a calentarse al pasar por el serpentín y así disminuir su porcentaje de humedad relativa y absoluta para que pueda absorber la humedad de las prendas a secar. El funcionamiento de la calandria consiste en que el vapor saturado ingresa al rodillo el cual gira a bajas rpm, el calor latente del vapor se transfiere desde el interior hasta la superficie externa de la chapa metálica que conforma el rodillo en donde se encuentran rotando las prendas de vestir conjuntamente con el rodillo, transfiriéndose así el calor a las mismas. (Popayan, 2016)

### **Esterilización.**

La esterilización se realiza en las autoclaves con vapor saturado, empleado para la destrucción de gérmenes patógenos, es decir, que se refiere exclusivamente a la muerte de aquellos organismos perjudiciales a la salud de los seres humanos, así como también la eliminación de una forma de vida especial de las bacterias como son las esporas. La efectividad del proceso de esterilización es función de la concentración del agente esterilizante (vapor, aire caliente, óxido de etileno).(Popayan, 2016)



Figura 10 Esterilizadores

Fuente: Popayan (2016)

### **Servicios de nutrición.**

En los centros de salud la preparación de los alimentos es una de las tareas a las cuales se presta un gran interés, ya que la calidad de alimentos, así como los procedimientos de preparación de estos tienen que ser llevados con gran asepsia para garantizar la calidad de alimentos que son servidos a los pacientes por parte de las instituciones de salud. Para el cual se hace el uso de marmitas. Las marmitas son equipos térmicos empleadas en la cocción de grandes volúmenes de alimentos, son utilizadas en la industria de elaboración de productos alimentarios para realizar diferentes procesos en los que se transfieren de calor de forma indirecta. El equipo consiste en una cámara de calentamiento conocida como camisa o chaqueta de vapor, que rodea el recipiente donde se coloca el material que se desea calentar. El calentamiento se realiza haciendo circular el vapor a cierta presión por la cámara de calefacción. El vapor saturado a baja presión cede su calor latente a través de este proceso, siendo retirado a través de trampas de vapor (Popayan, 2016)



Figura 11 Marmitas de Hospital

Fuente: Erices (2016)

## **2.4 COGENERACIÓN CALIFICADA**

En el Perú se promulgo el REGLAMENTO DE COGENERACION, el D.S N.º 037-2006 del 07.07.2006, el cual tiene 2 modificatorias el D.S N° 082-2007 (24.11.2007) y el D.S N° 052-2009 (20.06.2009). En el Reglamento se establece los requisitos y condiciones para que las Centrales de Cogeneración Calificadas. Se denomina Calificación al cumplimiento del presente reglamento, con lo cual se faculta la empresa que instalo a una planta de cogeneración a inyectar sus excedentes de energía y potencia al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional. (Rojas, 2021)

Siendo las principales características las siguientes:

- De acuerdo a lo establecido en la Ley N° 27133 “Ley de Promoción del Desarrollo de la Industria de gas Natural, el precio aplicable a las Empresas que Cogeneren y utilizan como combustible Gas Natural, pueden comprarlo a un precio similar a lo que compran las Empresas generadoras de energía.
- Las Centrales de Cogeneración que califiquen tienen prioridad en el despacho de energía, cuando tienen excedentes durante la generación de su energía útil , y su costo variable de las unidades de la Central de Cogeneración Calificada, despachadas no será considerado para la determinación del Costo Marginal de Corto Plazo
- Libre acceso a las Redes de Distribución. Para el pago del peaje de conexión a las Redes de Transmisión no se considera su potencia de autoconsumo.
- La venta de sus excedentes de energía y potencia están aseguradas en el mercado mayorista de energía a costo marginal del sistema.
- Puede vender sus excedentes de energía y potencia mediante contratos a los generadores, distribuidores o Clientes Libres. (Rojas, 2021)

Tabla 1 Criterios de Calificación

Tecnología/Combustible	Rendimiento Eléctrico Efectivo REE	Relación de Cogeneración $C=E/V$
Turbina de Vapor de Contrapresión	0.70	0.15
Turbina de vapor de condensación	0.68	0.30
Turbina de gas ciclo simple	0.55	0.40
Turbina de gas ciclo combinado	0.55	0.50
Motores de Combustión Interna	0.55	0.60
Biomasa	0.30	

Fuente: DS N° 037-2006 EM

Para aquellas centrales de cogeneración cuya potencia instalada sea menor o igual a tres (03) MW, el REE mínimo requerido será en un diez por ciento (10%) menor al que se indica en el Cuadro anterior, según corresponda.



Relación de Cogeneración (C): se denomina Relación de Cogeneración a la relación existente entre la Energía Eléctrica generada en bornes del generador eléctrico y el Calor útil aprovechado en los centros de consumo de la Planta Consumidora de Energía. En este caso para generación de agua caliente sanitaria (Reglamento de cogeneración del Peru,2007)

$$C = \frac{E}{V} \dots \dots \dots (15)$$

Calor útil (V): Esta referida a la energía térmica útil , expresada en kWh, proveniente de un proceso de cogeneración que satisface una demanda térmica de una actividad productiva y que de no existir el proceso de cogeneración, la mencionada demanda debe ser satisfecha por otras fuentes energéticas o procesos. Para nuestro caso esta referido al flujo de calor útil utilizada en las áreas de consumo conformantes del hospital. (Ministerio de Energía de Chile,2015) (Reglamento de cogeneración del Peru,2007)

Rendimiento Eléctrico Efectivo (REE). Este parámetro nos permite relacionar la energía eléctrica producida en bornes del generador, la diferencia de calor suministrados, en este casi el calor suministrado total a la unidad de cogeneración y el calor suministrado para generar el calor útil por medio de un generador de vapor cuya eficiencia es la máxima posible, en este caso 90%. (Reglamento de cogeneración del Peru,2007)

$$REE = \frac{E}{Q - \frac{V}{0.9}} \dots \dots \dots (16)$$

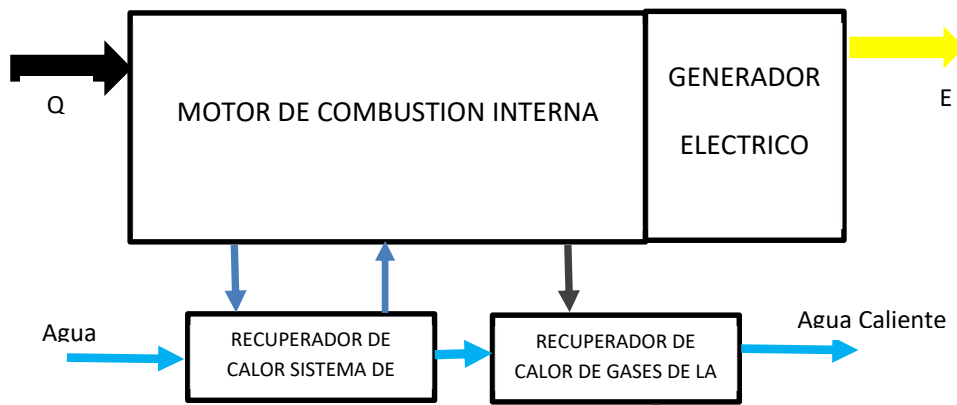


Figura 12 Parámetros de Cogeneración Calificada en MCI

Fuente: Aguilar (2021)

## 2.5 EVALUACIÓN ECONÓMICA

### 2.5.1 Valor Actual Neto (VAN)

El Valor Actual Neto (VAN) es el método más conocido a la hora de evaluar proyectos de inversión a largo plazo. El Valor Presente Neto permite determinar si una inversión cumple con el objetivo básico financiero: MAXIMIZAR la inversión. El VAN depende de las siguientes variables:

- La Inversión Inicial ( I ):Corresponde al monto o valor del desembolso que la empresa hará en el momento de contraer la inversión. En este monto se pueden encontrar: El valor de los activos fijos, la inversión diferida y el capital de trabajo.
- Los Flujos de Caja: Corresponde a los flujos de caja futuro en la que la empresa incurre anualmente u en otro periodo de tiempo.
- La tasa de descuento: Es la tasa de retorno requerida sobre una inversión. La tasa de descuento refleja la oportunidad perdida de gastar o invertir en el presente por lo que también se le conoce como tasa de oportunidad.
- Numero de periodos de duración del proyecto:
- La metodología de obtención del VAN consiste en descontar al momento actual (es decir, actualizar mediante una tasa) todos los flujos de caja futuros del proyecto. A este valor se le resta la inversión inicial, de tal modo que el valor obtenido es el valor actual neto del proyecto.

Al evaluar el VAN puede ocurrir tres posibilidades:

- Si  $VAN > 0$ , La Inversión productora ganancias por encima de la rentabilidad exigida, por lo tanto el Proyecto puede aceptarse.
- Si  $VAN < 0$ , entonces la Inversión producirá ganancias por debajo de la rentabilidad exigida m por lo tanto el proyecto deberá rechazarse.
- Si  $VAN = 0$ , entonces la Inversión no producirá ganancias ni pérdidas, por lo tanto dado que el proyecto no aporta valor monetario por encima de la rentabilidad exigida, la decisión debería basarse en otros criterios, como la obtención de un mejor posicionamiento en el mercado u otros factores.

El Valor del VAN se obtiene en función a la siguiente ecuación:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+i)^t} - I \dots \dots \dots (17)$$

Donde:

$V_t$  = Flujo de caja anual ( U\$/año)

$i$  = Tasa de interés (12 % en el mercado nacional)

$I$  = Inversión inicial realizada ( U\$)

$t$  = Periodos de tiempo en años

Para la determinación del  $V_t$  se tiene la siguiente ecuación:

$$V_t = A_t - CO_t \dots ( 18 )$$

Donde:

$A_t$  = Ingresos, ahorro o ganancia obtenida en cada periodo de tiempo analizado. (Para cada año)

$CO_t$  = Egresos por Costos de Operación y Mantenimiento anual.

### 2.5.2 Tasa interna de retorno

Se define como la tasa de descuento o tipo de interés que iguala el VAN a cero, es decir, se efectúan tanteos con diferentes tasas de descuento consecutivas hasta que el VAN sea cercano o igual a cero y obtengamos un VAN positivo y uno negativo. Al realizar la evaluación del TIR se tienen tres posibilidades de solución:

- Cuando la  $TIR >$  tasa de descuento ( $r$ ): El proyecto es aceptable.
- Cuando la  $TIR = r$ : El proyecto es postergado.
- Cuando la  $TIR <$  tasa de descuento ( $r$ ): El proyecto no es aceptable.

La TIR se evalúa según la siguiente ecuación:

$$VAN = 0 = -I + \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1 + TIR)^t} \dots (23 )$$

### 2.5.3 Periodo de retorno de inversión

Es un Indicador económico que nos permite determinar el tiempo en que se tarda en recuperar una inversión, también es conocido como Pay-Back y se define como el cociente entre la Inversión realizada, en este caso para precalentar la carga del horno de la Planta de galvanizado de tubos con respecto a los ahorros mensuales o en un periodo de tiempo definido, según la siguiente ecuación:

$$PRI = \frac{I}{A} (\text{meses}) \dots \dots \dots (24 \text{ )}$$

Donde:

I = Inversión inicial realizada. ( U\$)

A = Ahorros mensuales obtenidos. ( U\$/mes)

### III. MATERIALES Y MÉTODO

#### 3.1 MATERIALES

##### 3.1.1 Demanda de energía eléctrica

Se tiene las características contractuales de suministro de energía eléctrica en el Hospital Eleazar Guzmán Barrón.

Alimentar SED Nuevo Chimbote. Trifásico aéreo

Potencia contratada: 250 kW

Tarifa: MT4 Calificación mensual en Hora Punta.

Máxima Demanda Hora Punta: 185 kW

Máxima Demanda Horas Fuera de Punta: 190 kW

Factor de Carga: 0,80

Del mismo se presenta el diagrama de carga típico de demanda eléctrica (para el día de máxima demanda histórica (20.12.2020)

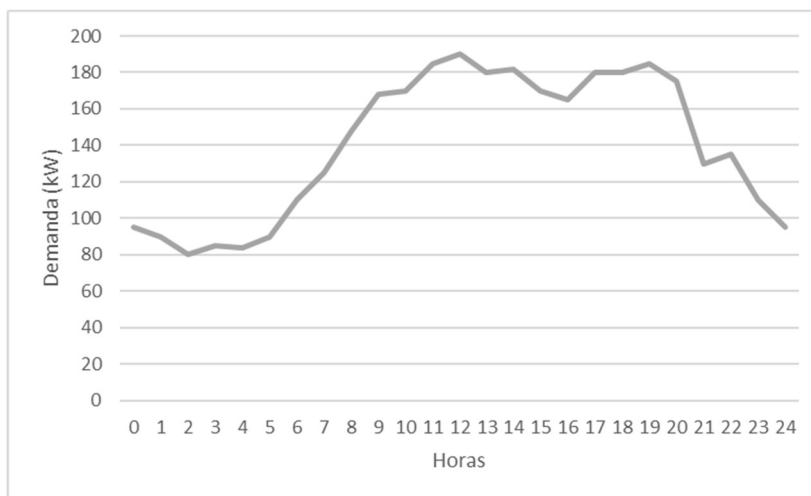


Figura 13 Diagrama de carga eléctrico típico HEGB

Fuente: Elaborado por Aguilar con información de HEGB (2021)

### 3.1.2 Demanda de energía térmica

Se presenta la siguiente información referida a la demanda térmica en el Hospital Eleazar Guzmán Barrón de Nuevo Chimbote.

Tabla 2 Horario de distribución de energía térmica en centros de consumo y demanda total.

AREA	DIAS	FLUIDO	HORARIO		$\dot{m}$
			mañana	noche	(kg/h)
LAVANDERIA	LUNES-SABADO	AGUA CALIENTE	6am-12m	0	100
SECADO	LUNES-SABADO	VAPOR SATURADO	9am-13:00hrs	0	210
NUTRICION	LUNES-DOMINGO	VAPOR SATURADO	5:00am-7:00am 10:00am-12:00m	15:00hrs-17hrs	90
ESTERILIZACIÓN	LUNES-DOMINGO	VAPOR SATURADO	10:00am-11:00m	15:00hrs-16hrs	50
PLANCHADORA	LUNES-SABADO	VAPOR SATURADO	9am-13:00hrs		70
DEMANDA DE FLUJO AGUA CALIENTE SANITARIA TOTAL					520

Fuente: Departamento de Servicios Generales HEGB

Se presenta la información de consumo de energía térmica por área.

Tabla 3 Consumo de energía térmica en lavadoras

Característica	Lavadora 1	Lavadora 2	Lavadora 3
Marca	MILNOR	IMKA	IMKA
Modelo	42026Q4J AAK	LRI-30	LRI-15
Consumo real (kg/h)	50	30	20
Temperatura (°C)	80	80	80
Consumo total de agua caliente (kg/h)	100 kg/h		

Fuente: Departamento de Servicios Generales HEGB

Se cuenta con 01 planchadora tipo calandria.

Tabla 4 Consumo de energía térmica en planchadora

Característica	Valores
Marca de la secadora	IMKA
Modelo	PRI-300V
Presión de bar	3 bar
Consumo de vapor	70 kg/h

Fuente: Departamento de Servicios Generales HEGB

Se cuenta con 02 secadoras.

Tabla 5 Consumo de energía térmica en secadoras

Característica	Secadora 1	Secadora 2
Marca	CIMELCO	CIMELCO
Modelo	SF-85	SV-50
Consumo real (kg/h)	120	90
Insumo	Vapor saturado a 2 bar	Vapor saturado a 2 bar
Temperatura ingreso aire (°C)	20	20
Temperatura de salida del aire (°C)	100	100
Consumo total de vapor(kg/h)	210	

Fuente: Departamento de Servicios Generales HEGB

Se cuenta con 07 marmitas para la operación de calentamiento de agua para uso en cocina.

Tabla 6 Consumo de energía térmica en marmitas

Características	Marmita 1	Marmita 2
Marca	IMKA	IMKA
Modelo	HR-MAV	HR-MATV
Unidades	4	3
Agua caliente	90	90
Agua fría	20	20
Presión de vapor	2 bar	2 bar
Consumo de vapor (kg/h)	7.5	20
Consumo total de vapor(kg/h)	90	

Fuente: Departamento de Servicios Generales HEGB

Se cuenta con 03 autoclaves para el servicio de esterilización.

Tabla 7 Consumo de energía térmica en servicio de esterilización

Característica	Autoclave 1	Autoclave 2	Autoclave 3
Marca	OPPICCI	TUTNAUER	TUTNAUER
Presión de operación (bar)	2	2	2
Consumo de vapor (kg/h)	10	10	30
Consumo total de vapor	50 kg/h		

Fuente: Departamento de Servicios Generales HEGB

Se cuenta con 02 generadores de vapor pirotubulares de los cuales la información técnica es la siguiente:

Tabla 8 Características operativos de Calderas Pirotubulares

Características	Caldera 1	Caldero 2
Potencia (BHP)	70	50
Año de fabricación	2008	1993
Marca	Intesa	ATTSU
Condición	Operativa (genera la oferta)	Operativa (en reserva)
Combustible	Petróleo BD2 (con conexión de GLP)	Petróleo BD2
Numero de pazos	3	2
Presión de servicio (bar)	6,5	6,5
Consumo combustible (galones/h0ra)	21	16
Eficiencia	84 %	82%

Fuente: Departamento de Servicios Generales HEGB

### **3.1.3 Muestra de estudio**

El Proyecto Hospital Regional de Chimbote fue concebido mediante un estudio de factibilidad realizado en el año 1972. En 1975 en conformidad con Decreto Ley No 19967, se establece el ámbito de influencia para las provincias de Santa, Casma y Huarvey, para servir a una población estimada de quinientos mil habitantes,

El edificio comprende un bloque central de cinco pisos con los departamentos médicos, centro Quirúrgico y Centro Obstétrico, en el primer piso se encuentra la Dirección y las Áreas Administrativas y dos bloques laterales Módulos de tres pisos para residencia, Área de Mantenimiento y un edificio de para residencia. El 10 de Octubre 1981, fue inaugurado por el entonces Presidente de la República Arq. Fernando Belaunde, iniciando sus actividades en Consulta Externa y Emergencia. En el mes de Setiembre de 1982 se apertura la atención en Hospitalización y Centro Quirúrgico. En 1991 sirvió como Unidad de Tratamiento del Cólera en la séptima pandemia teniendo como estigma a Chimbote “La capital del Cólera”, fue controlada en 1995; año en que es calificado como Hospital Amigo de la Madre y del Niño por la UNICEF. En 1996 se inaugura el primer módulo de Atención Integral del Niño del país. En 1998 el Hospital Regional E.G.B es calificado como Hospital Docente de Capacitación Materno Infantil y por el Ministerio de Salud y ESAN; asimismo hospital docente de Medicina Humana; se crea el primer Centro de adolescentes de la Región Ancash; durante el Fenómeno del Niño se realizó el primer estudio de investigación viral por el síndrome febril convulsivo en colaboración con OPS, INS y OGE. El mismo año se inaugura la unidad de Shock Trauma, la Clínica Regional y la Informatización de los Sistemas Administrativos, e introducción del SIAF. En el 2003 se instala la marcación de la tarjeta magnética. En el 2008 el Hospital Regional instalo en la caza de fuerza un Caldero Piro tubular de 70 BHP en sistema Dual.

### **3.1.4 Gas natural**

El gas natural es un combustible líquido que ha sido procesado para ser transportado en forma líquida. Es la mejor alternativa para monetizar reservas en sitios apartados, donde no es económico llevar el gas al mercado directamente ya sea por gasoducto o por generación de electricidad. El gas natural es distribuido a presión atmosférica de 40 bar y a 15.6 °C. Así, para poder transportar el gas natural licuado a Chimbote, se ha de lograr reducir el volumen



del gas natural en 300 veces, donde se transportará en buques especiales llamados metaneros. El GNC es inodoro, incoloro, no tóxico, su densidad (con respecto al agua) es 0,45 y sólo se quema si entra en contacto con aire a concentraciones de 5 a 15%. Dentro sus propiedades físico químicas tenemos las siguientes:

Poder calorífico inferior: 41,200 kJ/kg, Densidad: 0.65 kg/m<sup>3</sup> (Fuente: Osinergmin)

## 3.2 MÉTODOS

### 3.2.1 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

La Investigación es del tipo: pre -experimental, de naturaleza descriptiva.

### 3.2.2 DISEÑO

El diseño de la investigación pre- experimental se utiliza para establecer una relación entre la causa y el efecto de una situación. Es un diseño de investigación donde se observa el efecto causado por la variable independiente sobre la variable dependiente.



O1: Aplicación tarifaria actual según la componente del costo unitario de GNL virtual única para toda la zona norte del Perú.

O2: Aplicación tarifaria con la componente del costo unitario de GNL virtual diferenciado según la distancia desde planta de regasificación a ciudad de suministro.

X: Criterios de distancia en la determinación de costo unitario del GNL virtual.

GE: Usuarios de la zona de Concesión de QUAVII en la Provincia del Santa.

### 3.2.3 METODOLOGÍA DE CÁLCULO

Se presenta la siguiente secuencia del cálculo realizado en el presente informe:

a) Determinación de la demanda térmica de agua caliente sanitaria, demanda térmica restante y demanda eléctrica coincidente para el dimensionamiento del grupo electrógeno y sistema de cogeneración.

b) Dimensionar el grupo electrógeno con gas natural par la cobertura de la demanda eléctrica del Hospital regional Eleazar Guzmán Barrón.

- c) Cuantificar los flujos de energía remanente en los sistemas de escape, enfriamiento y lubricación del motor de combustión del grupo electrógeno.
- d) Estimar la capacidad de generación de agua caliente generada, con el sistema de cogeneración de energía con grupo electrógeno con gas natural.
- e) En función del Reglamento de cogeneración verificar las condiciones de inyección a la red para la sostenibilidad del sistema de generación de agua caliente sanitaria.
- f) Realizar una evaluación económica a para determinar la rentabilidad de la propuesta determinando el valor actual neto y la tasa interna de retorno,

**3.2.4 DIAGRAMA DE EQUIPOS DEL SISTEMA DE COGENERACIÓN  
SITUACION INICIAL:**

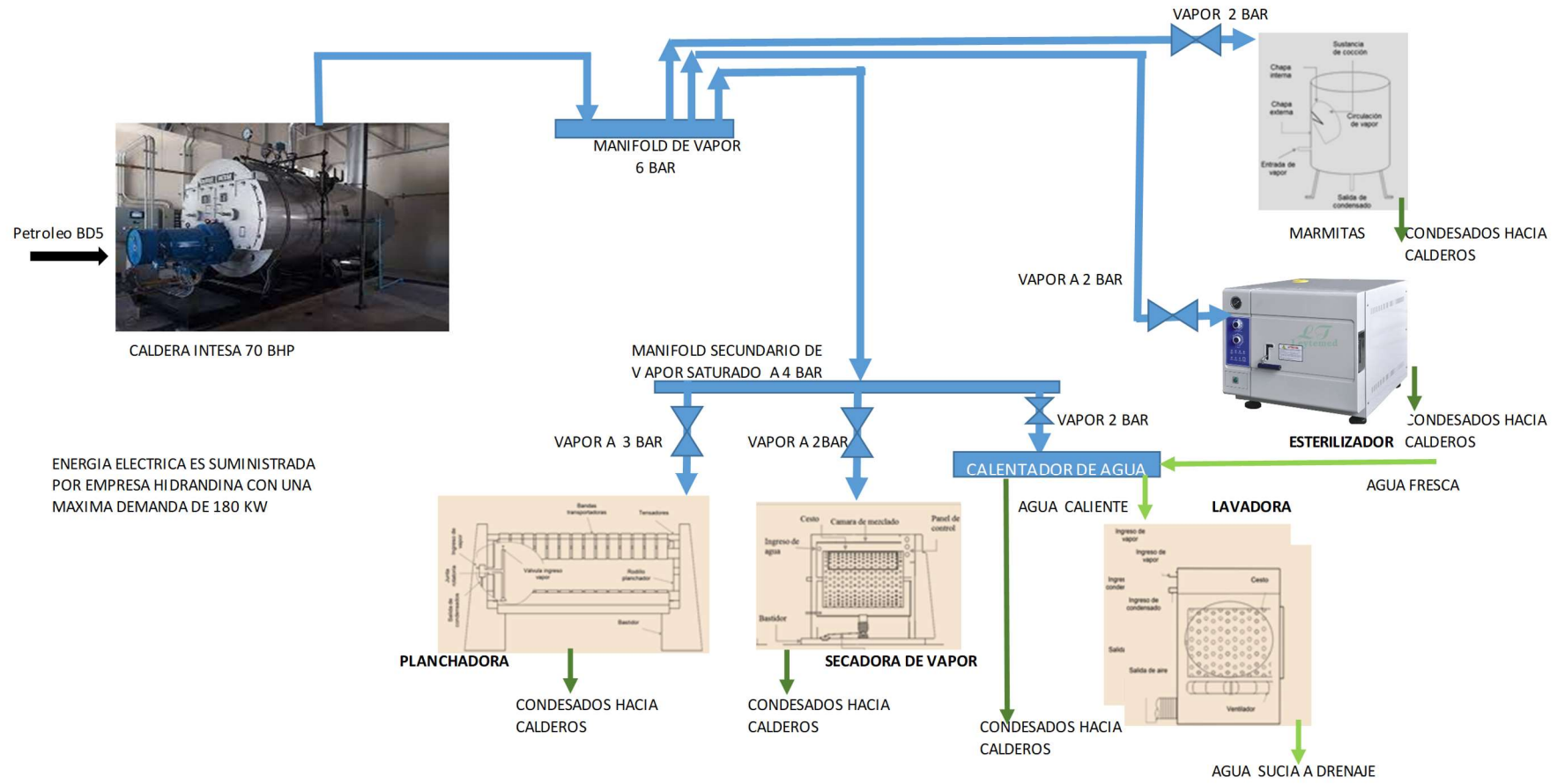


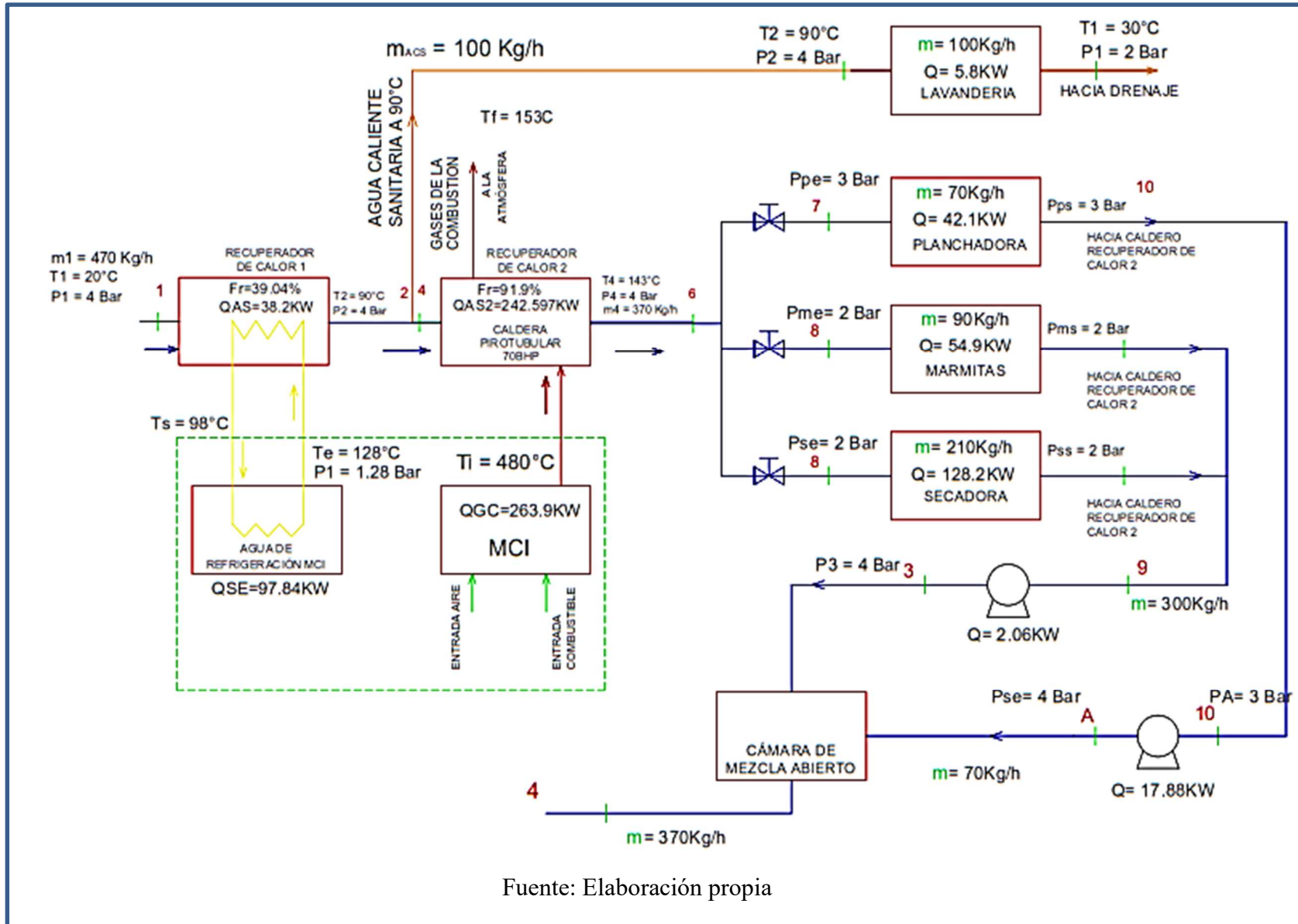
Figura 14 Esquema de la distribución de energía situación inicial

Fuente: Elaboración propia

## **PROPUESTA DE COGENERACIÓN:**

- ✓ En el siguiente esquema de equipos se muestra el flujo de energía en el cual 100kg/h se deriva para lavandería a 90 °C, y 370Kg/h pasa por la Caldera Piro-tubular existente que funcionará como un recuperador de calor el cual aprovechará el calor sensible de los gases de escape del M.C.I. generando vapor saturado a 4 Bar para luego utilizarlo en las diversas áreas según el horario del hospital.
  
- ✓ Cabe indicar que la máxima demanda de agua caliente sanitaria se realizó tomando en cuenta el horario de distribución de energía térmica la cual se da al medio día.
  
- ✓ En el diagrama termodinámico se exageró el gráfico con la finalidad que se pueda apreciar los estados termodinámicos, valga la redundancia.

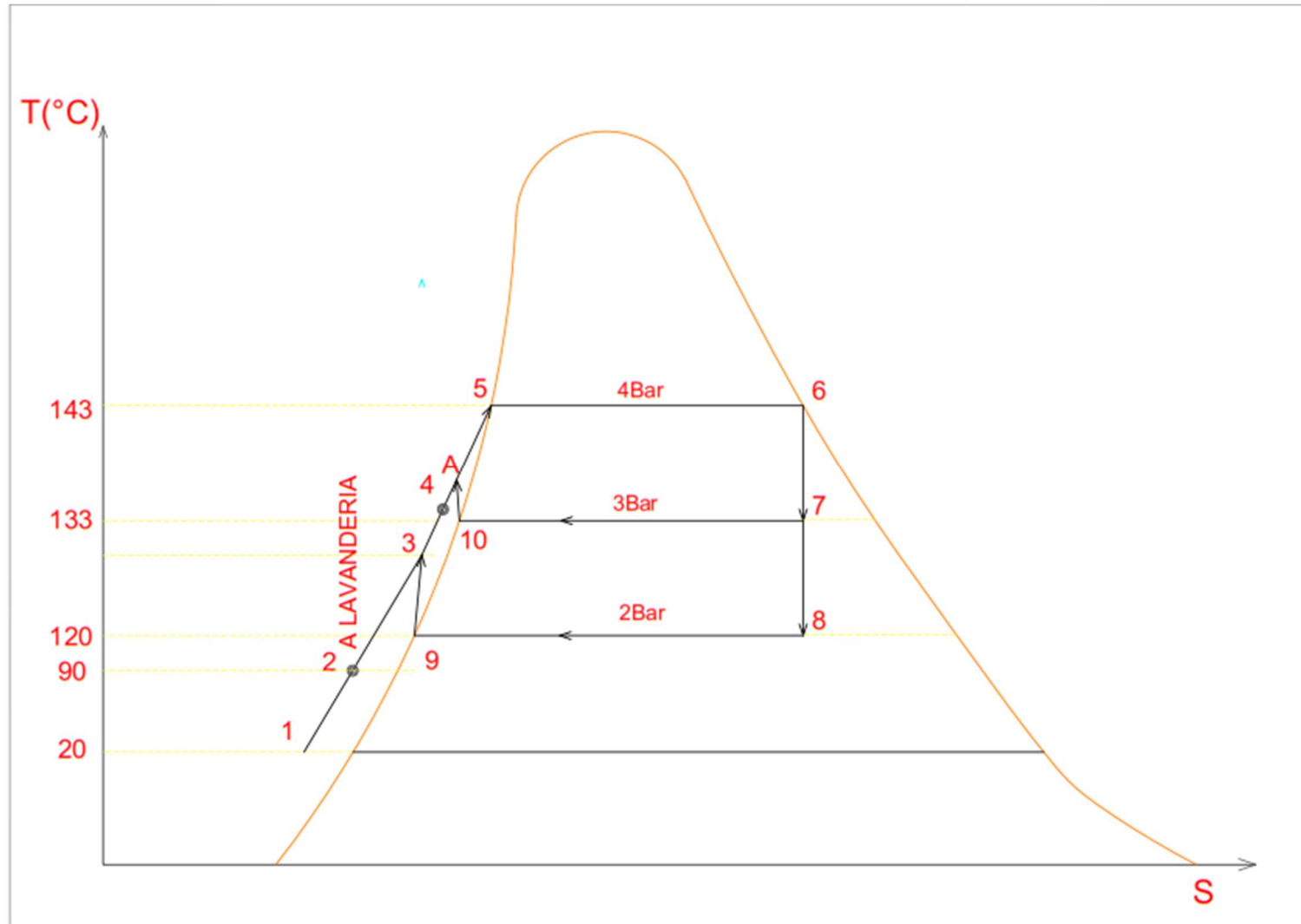
Figura 15 Esquema de la distribución de energía situación propuesta



Fuente: Elaboración propia

Figura 166 Diagrama Termodinámico de la distribución de energía situación propuesta

Fuente: Elaboración propia



#### IV. CALCULOS Y RESULTADOS

### 4.1 DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA TÉRMICA DE AGUA CALIENTE SANITARIA, DEMANDA TÉRMICA RESTANTE Y DEMANDA ELÉCTRICA COINCIDENTE

#### 4.1.1 Demanda térmica de agua caliente sanitaria a 90°C:

Se presentan los valores para el cálculo de la demanda térmica de agua caliente.

Flujo másico de agua caliente = 100 kg/h

Temperatura inicial agua sanitaria = 90 °C

Temperatura final del agua sanitaria = 30 °C (Valor deshecho del agua)

Calor específico del agua = 4,18 kJ/kg °C

$$\dot{V}_{AS} = \frac{100 * 4,18 * (90 - 30)}{3600} = 5.8 \text{ kW}$$

Se presenta el diagrama de carga de requerimiento de agua caliente sanitaria y demanda térmica asociada al agua caliente sanitaria, teniendo en consideración la Tabla N° 02

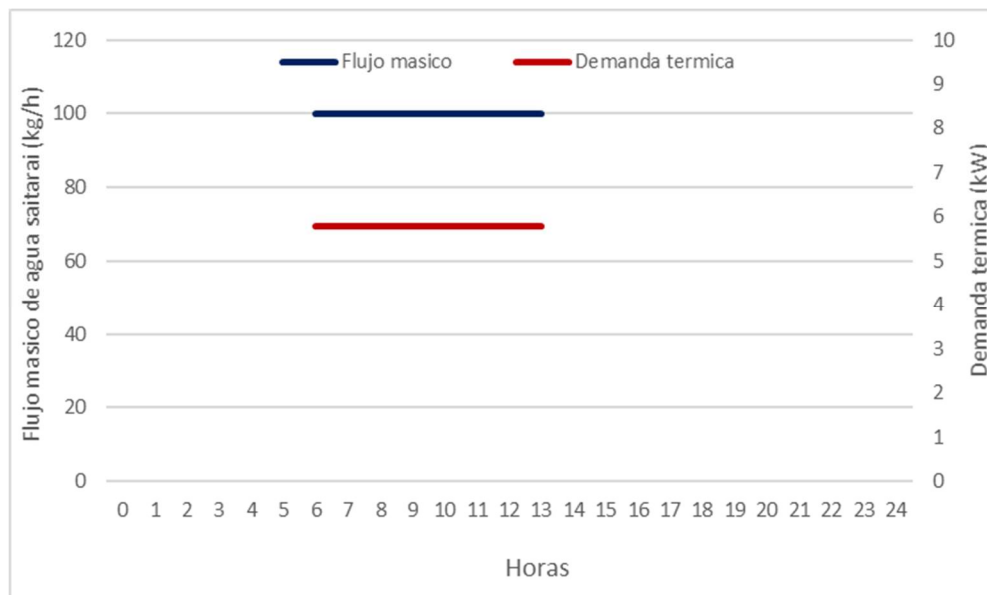


Figura 177 Flujo másico y demanda térmica de agua caliente sanitaria

#### 4.1.2 Demanda térmica para obtener vapor saturado:

Esta referida a la demanda térmica de vapor saturado a 2 bar.

##### • Planchadora.

Se presentan los valores para el cálculo de la demanda térmica de vapor saturado a 3 bar.

Flujo masico de agua caliente = 70 kg/h

Entalpia de vapor saturado = 2 724,7 kJ/kg and

Entalpia de líquido saturado = 561,4 kJ/kg

$$\dot{V}_{VP} = \frac{70 * (2\,724,7 - 561,4)}{3\,600} = 42,1 \text{ kW}$$

##### • Secadora.

Se presentan los valores para el cálculo de la demanda térmica de vapor saturado a 2 bar.

Flujo masico de agua caliente = 210 kg/h

Entalpia de vapor saturado = 2 706,3 kJ/kg

Entalpia de líquido saturado = 504,7 kJ/kg

$$\dot{V}_{VP} = \frac{210 * (2\,706,3 - 507,7)}{3\,600} = 128,2 \text{ kW}$$

##### • Marmitas.

Se presentan los valores para el cálculo de la demanda térmica de vapor saturado a 2 bar.

Flujo masico de agua caliente = 90 kg/h

Entalpia de vapor saturado = 2 706,3 kJ/kg

Entalpia de líquido saturado = 504,7 kJ/kg

$$\dot{V}_{VP} = \frac{90 * (2\,706,3 - 507,7)}{3\,600} = 54,9 \text{ kW}$$



• **Esterilizadora.**

Se presentan los valores para el cálculo de la demanda térmica de vapor saturado a 2 bar.

Flujo masico de agua caliente = 50 kg/h

Entalpia de vapor saturado = 2 706,3 kJ/kg

Entalpia de líquido saturado = 504,7 kJ/kg

$$\dot{V}_{VP} = \frac{50 * (2\,706,3 - 507,7)}{3\,600} = 30,5 \text{ kW}$$

Se presenta el diagrama de carga de requerimiento de vapor saturado, teniendo en consideración la Tabla N° 02, donde se realiza el máximo requerimiento de vapor saturado se presenta a las 12.00 horas del mediodía con un requerimiento de 420 kg/h.

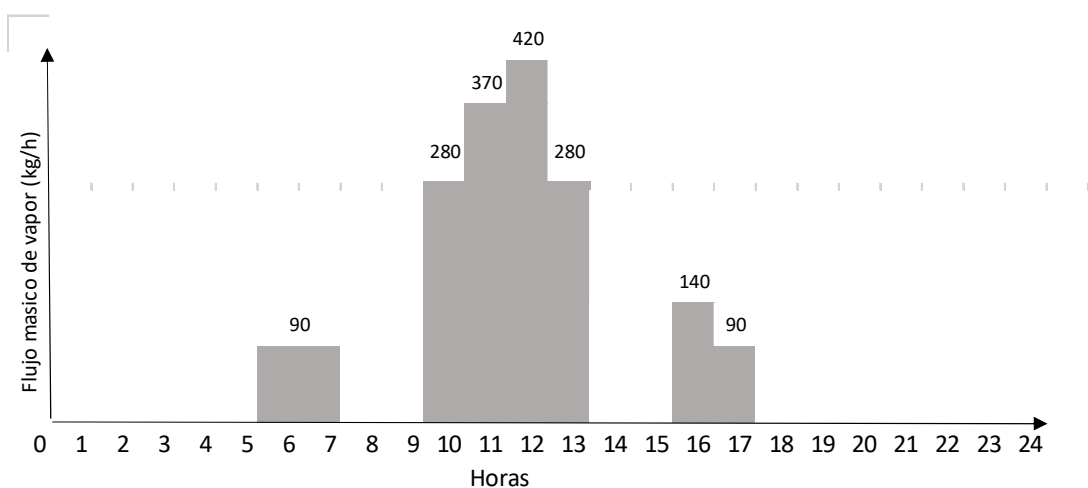


Figura 188 Flujo másico de vapor saturado

Se presenta el diagrama de carga de demanda térmica asociada al consumo de vapor saturado según las consideraciones de la Tabla N° 02, donde se presenta la máxima demanda térmica a las 12.00 horas del mediodía con un valor de 255,7 kW.

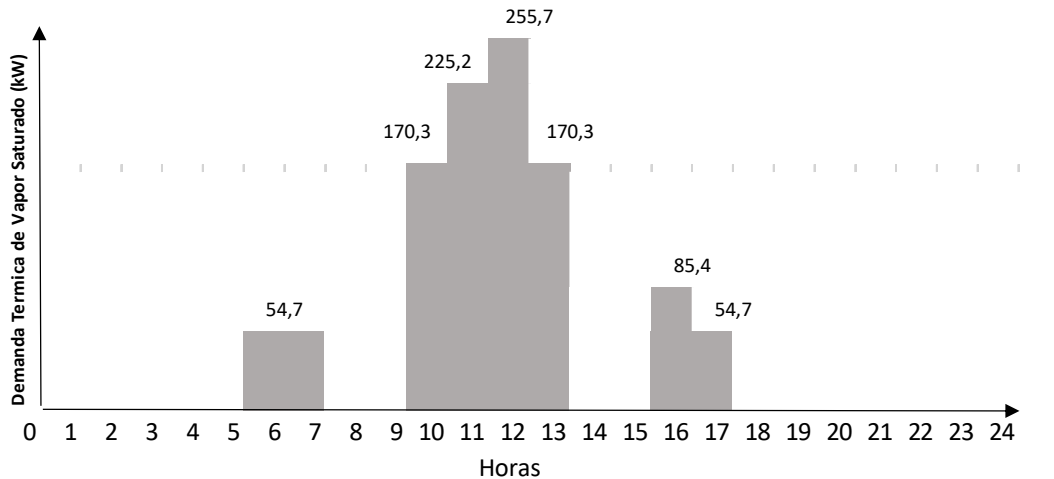


Figura 199 Flujo másico y demanda térmica de agua caliente sanitaria

Se presenta el diagrama de carga coincidente entre la máxima demanda térmica igual a 261,5 kW y la máxima demanda eléctrica igual a 190 kW la cual se presenta a las 12.00 del mediodía, valores que permitirán el dimensionamiento de la planta de cogeneración con un grupo electrógeno.

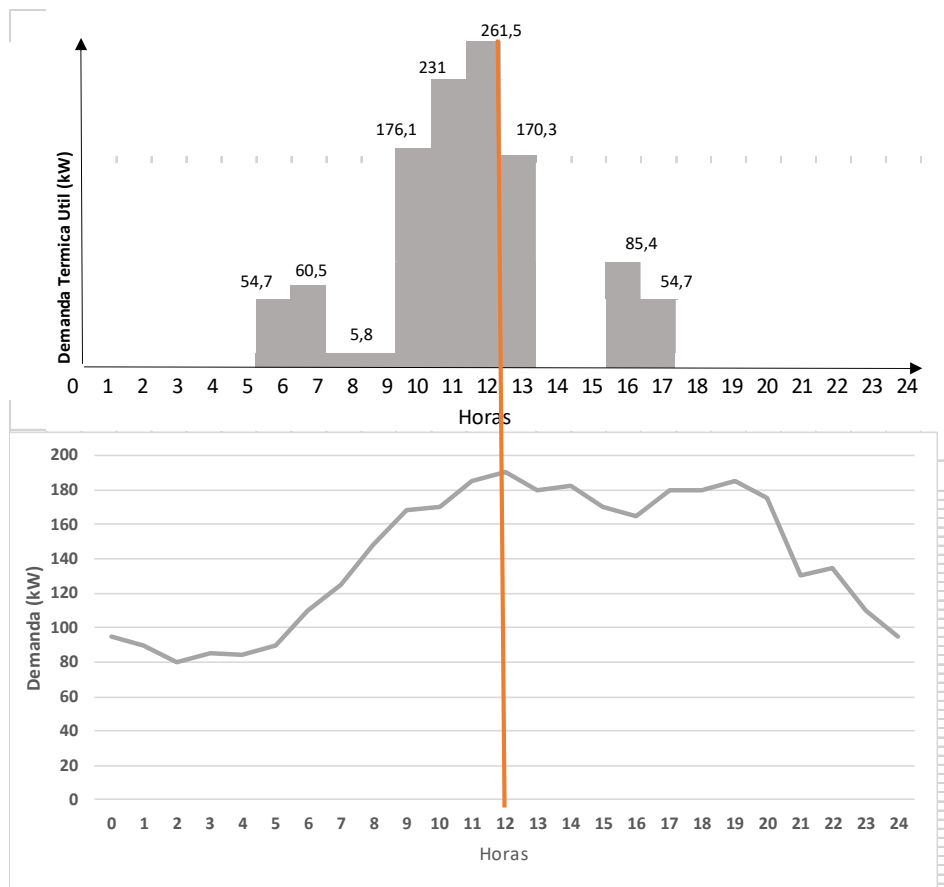


Figura 20 Máxima demanda térmica y Máxima demanda eléctrica coincidente

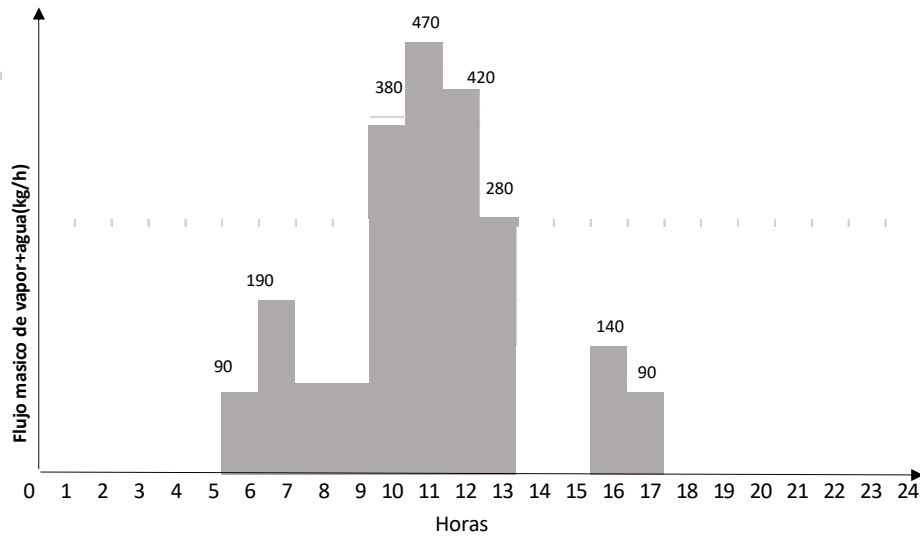


Figura 201 Flujo máximo de agua a procesar para obtener vapor saturado y agua caliente sanitaria.

En la figura N° 21 se presenta el Cuadro de requerimiento térmico de agua a procesar para la obtención de agua caliente sanitaria y vapor saturado.

	HORAS	FLUJO AGUA (Kg/h)	FLUJO VAPOR (Kg/h)	Ti	Tf	Ce	Hv	Hf	FC	PRESION	Q(KW)
AGUA CALIENTE SANITARIA		100		80	30	4,18			3600		5,8055556
VAPOR SATURADO											
PLANCHADORA			70				2724,7	561,4	3600	3	42,064167
SECADORA			210				2706,3	504,7	3600	2	128,42667
MAMITAS			90				2706,3	504,7	3600	2	55,04
ESTERILIZADOR			50				2706,3	504,7	3600	2	30,577778
TOTAL VAPOR	0	100	420								256,10861
TOTAL											261,91417

Tabla 9 Flujo Térmico para obtener vapor saturado y agua caliente sanitaria

#### 4.2 DIMENSIONAMIENTO DEL GRUPO ELECTRÓGENO DE GAS NATURAL PARA LA COBERTURA DE LA DEMANDA ELÉCTRICA DEL HOSPITAL REGIONAL ELEAZAR GUZMÁN BARRÓN

Según el DS N° 037-2006 EM Reglamento de Cogeneración del Perú se definen los siguientes criterios de Cogeneración Calificada para motores de combustión interna como unidad motriz.

$$REE \geq 0.55$$

$$C \geq 0.6$$

Se hizo una búsqueda de equipos comercialmente disponibles con gas natural en el mercado del Perú. Se presentan las características del grupo electrógeno seleccionado el cual es el de menor potencia comercial (la mayor parte son de 2.5 MW o más)

Tabla 10 Características técnicas de grupo electrógeno con gas natural

Ítem	Parámetro	Detalle
1	Marca	CAT
2	Modelo	G3512 TA
3	Tipo	Continuo
4	Potencia eléctrica	786 kW
5	Condiciones de potencia	15,6 °C , 60 % de HR , 100 msnm
6	Combustible	Gas Natural
7	Eficiencia	43.5 %
9	Motor	
10	Disposición	12 cilindros en V
11	Cilindrada	51 800 cm <sup>3</sup>
12	Dimensiones	Carrera = 190    Calibre = 170 mm
13	Aspiración del aire	Sobrealimentado
14	Agua enfriamiento	0,78 kg/s a 1.8 Bar    Rango de temperatura 128 °C a 98 °C
15	Exceso de aire	25 %
17	Generador eléctrico	
18	Tipo	SR4B SIN ESCOBILLAS
19	Parámetros eléctricos	962,5 KVA, F.P = 0.8, 440 v/60Hz 1 500/ 1 800 rpm
20	Protección	IP23
21	Aislamiento	CLASE H (UL 1446)
22	Normas de fabricación	AS1359, CSA C22.2 N°100-04, UL142, UL489, UL869, UL 2200, NFPA37, NFPA70, NFPA99, NFPA110, IBC, IEC60034-1, ISO3046/1, ISO8528, NEMA MG1-22, NEMA MG1- 33, 2006/95/EC, 2006/42/EC, 2006/108/EC.

Fuente: Caterpillar INc.

Seguidamente se determinó el cumplimiento preliminar de los criterios de calificación para motores de combustión interna:

Para  $V = 261.5 \text{ kW}$

Para  $E = 786 \text{ kW}$

Calculamos la energía suministrada por el combustible ( $Q$ ), se aplica la ecuación N° 03 para un rendimiento de planta de 43,3%

$$Q_{sc} = \frac{786}{0,435} = 1\ 806,9 \text{ kW}$$

Además: Para aquellas centrales de cogeneración cuya potencia instalada sea menor o

igual a tres (03) MW, el REE mínimo requerido será en un diez por ciento (10%).

$$REE \geq 0.55 * 0.9 \geq 0,495$$

$$C \geq 0.6$$

Seguidamente presentamos el cumplimiento de los criterios de calificación:

$$REE \geq 0.495 \quad REE = \frac{786}{1\,806,9 - \frac{261,5}{0,9}} = 0,518 \quad Si\ cumple$$

$$C \geq 0.6 \quad C = \frac{786}{261,5} = 3.00 \quad Si\ cumple$$

### 4.3 CUANTIFICACIÓN DE LOS FLUJOS DE ENERGÍA REMANENTE EN LOS SISTEMAS DE ESCAPE Y ENFRIAMIENTO DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA DEL GRUPO ELECTRÓGENO

#### 4.3.1 Referente a los gases de combustión

- Determinación del flujo masico de combustible a plena carga. Según la ecuación 3 modificada:

$$\eta_{planta} = \frac{P_{ef}}{\dot{m}_{GN} * PCI_{GN}} * 100 \% \quad \dots \dots \dots (3)$$

Donde:

$$\eta_{planta} = 43,5 \%$$

$$PCI_{GN} = 46\,894 \text{ kJ/kg (Fuente : Osinergmin)}$$

$$P_{ef} = 786 \text{ kW}$$

$$43,5\% = \frac{786}{\dot{m}_{GN} * 46\,894} * 100 \%$$

$$\dot{m}_{GN} = 0,0385 \frac{kg}{s}$$

- Determinación del calor sensible de los gases de la combustión:

Se tiene una relación aire combustible estequiométrico de 15,8 kg aire/kg gas natural (Tesis de Leiner Rojas, 2021)

Además, un exceso de aire de 25 %

Por lo tanto la relación aire combustible real es igual a:

$$\frac{R_a}{c_R} = 15,8 * 1,25 = 19,75 \frac{kg \text{ aire}}{kg \text{ gas natural}}$$

Seguidamente se calcula el flujo de aire de la combustión;

$$\dot{m}_a = \frac{R_a}{c_R} * \dot{m}_c = 19,75 * 0,0385 = 0,76 \frac{kg \text{ aire}}{s}$$

Por la ecuación de continuidad se cumple dentro del m.c.i. lo siguiente:

$$\dot{m}_g = \dot{m}_a + \dot{m}_c$$

$$\dot{m}_g = 0,76 + 0,0385 = 0,799 \text{ kg/s}$$

Seguidamente se determina el flujo de calor disponible por los gases de la combustión:

$T_{2GC} = 480 \text{ }^\circ\text{C}$  (Valor promedio de temperatura de los gases salientes por el múltiple de escape del m.c.i.)

$T_{1GC} = 153 \text{ }^\circ\text{C}$  (Valor promedio de temperatura de los gases salientes del recuperador de gases de la combustión emitidos a la atmosfera. El valor de 153 °C es 10 °C superior a 143 °C, este último es el valor de la temperatura de saturación a 4 bar , valor de la presión de generación de vapor a considerar en el dimensionamiento del sistema de cogeneración)

$$Cp_{GC} = 1,0241 \text{ kJ/kg }^\circ\text{C}$$

Aplicando la ecuación 12:

$$Q_{GC} = 0,799 * 1,0241 * (480 - 153) = 267.56 \text{ kW}$$

#### 4.3.2 Referente al sistema de enfriamiento del motor

Se tienen las siguientes consideraciones:

$$\dot{m}_{AE} = 0.78 \text{ kg/s}$$

$$Cp_{AE} = 4.18 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

$$T_{2AE} = 128 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{1AE} = 98 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Aplicando la ecuación 09:

$$Q_{SE} = 0,78 * 4,18 * (128 - 98) = 97,812 \text{ kW}$$

### 4.3.3 Verificación del flujo de energía a recuperar con relación al flujo de energía útil

$$Q_{SE} + Q_{GC} = 97,812 + 267.56 = Q_{disponible \ a \ recuperar} = 365,37 \text{ kW}$$

Si  $V = 261,5 \text{ kW}$

Se cumple que el flujo de energía remanente o a recuperar es mayor al flujo de calor útil, con lo cual es viable técnicamente

$$Q_{disponible \ a \ recuperar} = 365,37 \text{ kW} > V = 261,5 \text{ kW}$$

### 4.3.4 Arreglo del sistema de cogeneración

Consideraciones para el recuperador de calor del sistema de enfriamiento:

$$Q_{SE} = 97,812 \text{ kW (Igual a } Q_{AS2} \text{ según ecuación 11)}$$

$$Cp_{AS} = 4.18 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

$$T_f = 90 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_i = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Aplicando la ecuación 10:

$$97,812 = \dot{m}_{AS} * 4,18 * (90 - 20)$$

$$\dot{m}_{AS} = 0,334 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 1\,203,7 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

En la hora de máxima demanda térmica se requiere 470 kg/h de agua de proceso de donde 100 kg/h se destina a la generación de agua sanitaria y 370 kg/h se destinan a la generación de vapor saturado a 4 bar (1 bar sobre la presión máxima de servicio en el área de planchado).

Corrección del flujo de calor recuperado

$$Q_{SE} = 97,812 \text{ kW (Igual a } Q_{AS} \text{ según ecuación 11)}$$

$$Cp_{AS} = 4.18 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

$$T_f = 90 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_i = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\dot{m}_A = 520 \text{ kg/h}$$

Aplicando la ecuación 10:

$$Q_{SEreal} = 470 * 4,18 * (90 - 20)$$

$$Q_{SEreal} = 38.2 \text{ kW}$$

Se tiene la siguiente fracción de recuperación del flujo de energía disponible del sistema de enfriamiento:

$$\text{Fraccion de recuperacion}_{SE} = \frac{38,2}{97,812} * 100\% = 39,05 \%$$

La fracción restante del flujo de energía disponible del sistema de enfriamiento se disipa en el conjunto ventilador radiador del m.c.i.

Consideraciones para el recuperador de calor del sistema de gases de la combustión. Teniendo en cuenta que el flujo de agua sanitaria ha sido generado con el aprovechamiento del flujo de energía del sistema de enfriamiento, tan solo 370 kg/h de agua de proceso se derivan a un sistema de recuperación de calor de los gases de la combustión para generar vapor saturado a 4 bar.

Se tienen las siguientes consideraciones para la ecuación 13 modificada:

$$\dot{m}_V = 370 \text{ kg/h}$$

$$h_2 = 2737,6 \text{ kJ/kg entalpia de vapor saturado a 4 bar.}$$

$$h_1 = 377,2 \text{ kJ/kg entalpia de líquido comprimido a } 90 \text{ } ^\circ\text{C y 4 bar.}$$



El flujo de energía disponible en el sistema de recuperación de los gases de la combustión es:

$$Q_{GC} = 263,9 \text{ kW}$$

Por lo tanto:

$$Q_{AS3real} = \frac{370}{3\ 600} * (2\ 737,6 - 377,2) = 242,6 \text{ kW}$$

Se tiene como resultado que el flujo de energía real aprovechado es menor al flujo de energía total disponible del sistema de recuperación de los gases de la combustión.

$$Q_{GC} = 265,37 \text{ kW} > Q_{AS3real} = 242,6 \text{ kW}$$

Se tiene la siguiente fracción de recuperación del flujo de energía disponible del sistema de enfriamiento:

$$\text{Fraccion de recuperacion}_{GC} = \frac{242,6}{265,9} * 100\% = 91,24 \%$$

A continuación, se presenta el Diagrama de pérdidas del flujo de energía del sistema de cogeneración: se consideran las pérdidas por radiación, convección y otros el 10%, el flujo de energía que se pierde por medio de los gases de la combustión es de 32%, y el 14% se aprovecha del calor sensible de los gases de la combustión para generar agua caliente sanitaria y vapor saturado según el requerimiento del Hospital, finalmente el 43.5% se aprovecha en energía eléctrica.

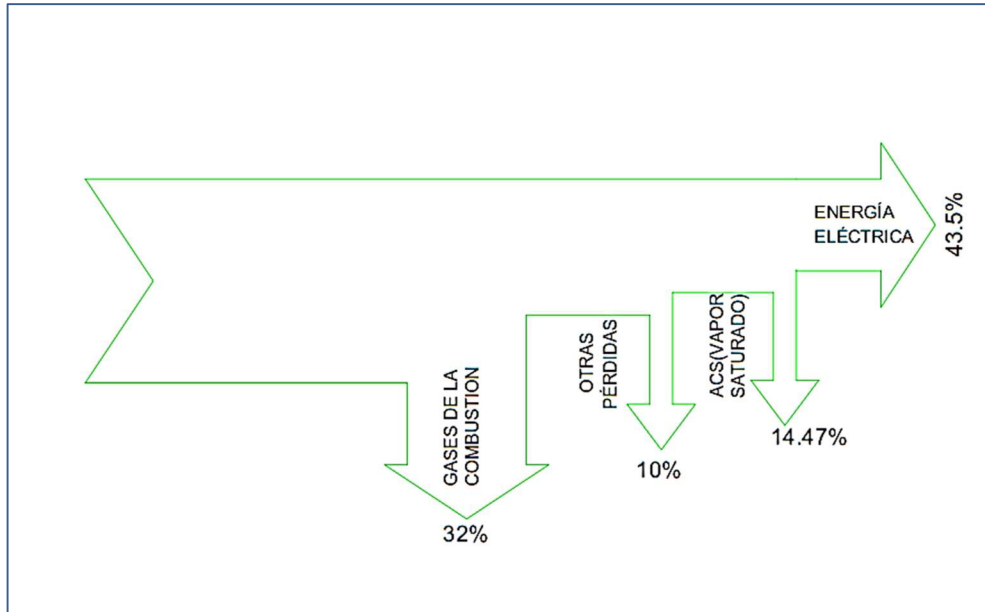


Figura 212 Balance Energético del Flujo de energía del sistema de cogeneración

#### 4.4 RENTABILIDAD DE LA COGENERACIÓN CALIFICADA

##### 4.4.1 Indicadores de desempeño

Determinación del Heat Rate.

Se evalúa con la ecuación 04.

$$\dot{m}_{GN} = \frac{0,038 \frac{\text{kg}}{\text{sg}}}{28 \frac{\text{m}^3}{\text{MMBTU}}} * \frac{3\,600 \frac{\text{sg}}{\text{hora}}}{0,64 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 7,634 \text{ MMBTU/h}$$

$$\text{H. R} = \frac{7,634}{0,786} = 9,71 \frac{\text{MMBTU}}{\text{MWh}}$$

Al cumplir con los criterios de calificación del Reglamento de Cogeneración del Perú , el costo por compra del combustible será similar al precio de compra de gas natural por parte de una central termoeléctrica.

Precio de venta de gas natural para la central térmica de Santa Rosa en Lima es 3,0 US\$/MMBTU y aplicando un factor de transporte virtual de 10 % (Precio declarado para

ENEL GENERACION según Informe N° 193-2020-GR para la determinación de los precios en barra 2020-2021)

Precio de compra de gas natural = 3,3 U\$/MMBTU.

Costo variable combustible CVC:

$$C. V. C = 9,71 * 3,6 = 32,04 \frac{U\$}{MWh}$$

Del mismo modo el costo variable no combustible para una central termoeléctrica con m.c.i es igual a: 2,45 U\$/MWh (Valor de la Central Termoeléctrica Independencia con m.c.i con gas natural ubicada en el SEIN según Informe N° 193-2020-GR para la determinación de los precios en barra 2020-2021)

$$C. V. C = 34,49 \text{ U\$/MWh}$$

#### **4.4.2 Beneficios de calificación**

Consideraciones para el suministro actual

Tarifa MT4

Máxima demanda 190 kW

Factor de Carga = 0.8

Operación mensual constante los 12 meses del año.

Eficiencia en caldero de 70 BHP = 84 %

Combustible Petróleo BD5

Consideraciones para la Cogeneración calificada

Potencia efectiva: 786 kW

Combustible: Gas natural.

Consumos DICIEMBRE 2020 ENERGIA ELECTRICA			
EAT (Energia Activa total) kWh			3507
EAHP (Energia Activa hora fuera de punta) kWh			2772
EAHP (Energia Activa hora punta) kWh			735
MD HP (Maxima demanda Horas Punta) kW			185
MDHFP (Maxima Demanda Horas Fuera de Punta) kW			190
N° días	31	Horas Punta mes	125
Grado de calificacion			0,030947368

Cargo	Valor	Unidad	Precio Unitario	Sub Total (S/)
EAT	3507	kWh	0,2454	860,62
PAG	190	kW	36,07	6853,30
PARD	190	kW	12,41	2357,90
Subtotal				10071,82
Facturacion mensual energia electrica				11884,75

Consumos DICIEMBRE 2020 PETROLEO BD5			
Horas dia/mes		31	dia/mes
Produccion vapor /dia		2260	kg/dia
Entalpia vapor saturado (6 bar)		2755,5	kJ/kg
Entalpia liquido comprimido (60 °C y 10 bar)		251,9	kJ/kg
Poder Calorifico inferior		41214,8	kJ/kg
Densidad del BD5		3,28	kg/galon
Eficiencia del caldero		84%	
Flujo masico de Petroleo BD5		49,83	galon/dia
Flujo masico de Petroleo BD5		1494,82	galon/mes
Precio del Petroleo BD5 (incluido IGV)		14,5	S/./galon
Facturacion mensual Petroleo BD5		21674,86	S/./mes

Facturacion mensual total	33559,61	S/./mes
<b>Facturacion mensual total</b>	<b>8145,54</b>	<b>U\$/mes</b>

Los costos unitarios para el calculo tarifario MT4 se realizaron con los valores declarados para Diciembre 2020 Zona de Concesion de Hidrandina según <https://www.osinergmin.gob.pe/Tarifas/Electricidad/PliegoTarifario.aspx?Id=20000>

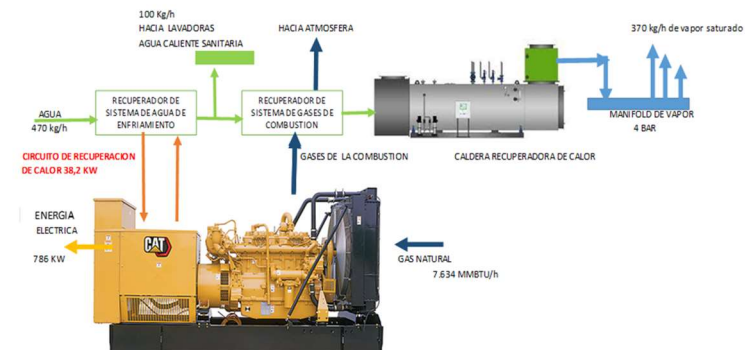
ANALISIS DEL SISTEMA DE COGENERACION		
Potencia generada	786	kW
Energia maxima generada	584784	kWh
Energia requerida HEGB	3507	kWh
Excedente energia electrica	581277	kWh

C.V.C	34,49	U\$/MWh
<b>Costo tal de generacion</b>	<b>20169,2</b>	<b>U\$/mes</b>

Precio de la energia	0,1573	S/./kWh
Ventas de energia	22327	U\$/mes

Precio de la potencia	20,68	S/./kW mes
Ventas de potencia	3945,3	U\$/mes

<b>Ventas totales</b>	<b>26272,1</b>	<b>U\$/mes</b>
<b>INGRESOS POR COGENERACION</b>	<b>6102,9</b>	<b>U\$/mes</b>



Los valores de precio de potencia y precio de energia en la Barra Chimbote1 220 kV fueron extraidos del Informe N° -GART OSINERG., Informe donde se publican los precios en barra para el periodo 2020-2021--SEIN

Figura 223 Comparativo económico por cogeneración calificada para generar agua caliente sanitaria

### 4.4.3 Evaluación económica

El presupuesto económico de la instalación de una planta de cogeneración calificada con m.c.i de 786 kW para la generación de energía eléctrica .agua caliente sanitaria y vapor saturado a baja presión , incluirá un caldero de recuperación para generar 0,5 Ton/h de vapor , adecuación de las instalaciones de fuerza y una subestación eléctrica para la inyección de energía eléctrica hacia la instalación interna y la red.

Vida útil del proyecto: 20 años

Tasa de interés de mercado 12 %

Inversión 1'000 000 U\$ (ver presupuesto en anexo)

Ingresos mensuales = 6 109,2 U\$/mes (para 12 meses de operación) = 73 310,40 U\$/año

Ahorros mensuales = 8 145,5 U\$/mes (para 12 meses de operación) = 97 746,00 U\$/año

Costo de operación y mantenimiento, esta incluido en la determinación del costo variable total. Del mismo modo el costo variable no combustible para una central termoeléctrica con m.c.i es igual a: 2,45 U\$/MWh (Valor de la Central Termoeléctrica Independencia con m.c.i con gas natural ubicada en el SEIN según Informe N° 193-2020-GR para la determinación de los precios en barra 2020-2021)

$$COM = 2,45 \frac{U\$}{MWh} * 584\,784 \frac{kWh}{mes} * \frac{1\,000\,000\,kWh}{1\,000\,000\,kWh} * 12 \frac{mes}{año} = 17\,192\,000\,U\$$$

Para el pay back:

$$Pay\ Back = \frac{1\,000\,000.00\,U\$}{((73\,310,40 + 97\,746,00) - 17\,192,00)U\$/año} = 6,5\, años$$

Se presentan los resultados de los indicadores de rentabilidad:

Tabla 71 Indicadores de rentabilidad

ANALISIS ECONOMICO				
	Ingresos	73 234,80		
	Egresos	97 746,00		
	OM	17 192,65		
	Inversión	1 000 000,00		
Periodo	INVERSION	EGRESOS	INGRESOS	SALDO
0	1 000 000,00			-1 000 000,00
1		17 192,65	170 980,80	153 788,15
2		17 192,65	170 980,80	153 788,15
3		17 192,65	170 980,80	153 788,15
4		17 192,65	170 980,80	153 788,15
5		17 192,65	170 980,80	153 788,15
6		17 192,65	170 980,80	153 788,15
7		17 192,65	170 980,80	153 788,15
8		17 192,65	170 980,80	153 788,15
9		17 192,65	170 980,80	153 788,15
10		17 192,65	170 980,80	153 788,15
11		17 192,65	170 980,80	153 788,15
12		17 192,65	170 980,80	153 788,15
13		17 192,65	170 980,80	153 788,15
14		17 192,65	170 980,80	153 788,15
15		17 192,65	170 980,80	153 788,15
16		17 192,65	170 980,80	153 788,15
17		17 192,65	170 980,80	153 788,15
18		17 192,65	170 980,80	153 788,15
19		17 192,65	170 980,80	153 788,15
20		17192,65	170980,80	153 788,15
VAN (U\$)	1 056 152,30			
TIR	14,32%			

**Se tienen valores adecuados de los indicadores de rentabilidad: TIR igual 14,32 %, valor superior a la tasa de interés del mercado eléctrico, así mismo el Valor del VAN es positivo.**

## 4.5 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Con referencia a la tesis de Erices (2014) en sus tesis para instalar una planta de cogeneración con motores de combustión interna para un centro de salud en hile se optó por dimensionar sistemas de generación de potencia media del orden de 9 MW eléctricos, básicamente hospitales denominándose este último sector terciario con lo cual se abastece de energía para la obtención de agua caliente sanitaria, en nuestro caso se concuerda con el mencionado informe de que existe la viabilidad de instalar plantas de cogeneración con m.c.i en hospitales , con la diferencia que el dimensionamiento se ha realizado a baja escala , con una potencia de 786 kW, con el cual se cubre la totalidad de la energía eléctrica requerida y el calor de procesos que incluye generar agua caliente sanitaria a 90 °C.

En la tesis de Ttacca y Mostajo (2017), quienes aplicaron normativas y medidas de eficiencia energética y cogeneración en centros hospitalarios lo que es el caso del sistema hospitalario de salud – Hospital II Ayaviri”, en el cual se alcanza cubrir la totalidad del consumo de energía eléctrica y térmica con una única fuente de energía primaria tal como lo es la cogeneración de energía, con la implementación de la cogeneración con motores de combustión interna, se concuerda con el informe anterior, en lo referido a la cobertura de la totalidad de la demanda térmica del hospital igual a 261,5 kW y con la totalidad de la demanda eléctrica igual a 185 kW, instalándose una planta de cogeneración de 786 kW que permite no solo cubrir la totalidad de la demanda interna , sino también inyectar los excedentes de energía eléctrica a la red mediante el cumplimiento de la normativa peruana referida al reglamento de cogeneración del Perú.

En la tesis de Heredia (2020) se presenta la implementación de un sistema de Trigeneración de energía conformada por una planta de cogeneración con motores de combustión interna y un sistema de refrigeración por absorción, tecnología que le permite cubrir con un demanda eléctrica de 140 KW pero con el generador seleccionado no alcanza a cubrir la demanda térmica de 212 kW para los procesos de calor útil necesario en un hospital, alcanza a tener una independencia de la generación eléctrica de la red de distribución , pero requiere u de un sistema adicional con un caldero pirotubular para la generación del calor adicional requerido. A diferencia del informe citado, nuestra propuesta alcanza la cobertura total de demanda térmica y demanda eléctrica con la implementación de un grupo electrógeno con motor de combustión interna de 786 kW, con lo cual se alcanza

a cubrir la totalidad de la demanda térmica requerida (261, 5 kW) y del mismo modo logra una independencia de la red externa del distribuidor de la zona, incluyendo como resultado con la inyección de los excedentes de la energía eléctrica producida a la red externa. Se manifiesta que Heredia al realizar su sistema de Trigeneración en el Hospital ESSALUD de Chimbote que tiene capacidades de demanda cercanas a la del Hospital Regional de Chimbote, el autor anterior, selecciono un sistema de generación muy pequeño , con lo cual la energía recuperada no alcanzaba a cubrir la generación de la demanda térmica, a diferencia de nuestra tesis, en el cual el sistema de generación de energía es de mayor tamaño , con este ultimo se puede aprovechar los gases calientes de la combustión y el calor remanente del sistema de enfriamiento del motor, y con este ultimo se pudo generar el 100% del agua caliente sanitaria requerida.

En la tesis de Rodríguez. (2002) se propone un sistema de cogeneración con turbinas a gas mediante un sistema de cogeneración sin inyección a la red en el hospital San José de Monterrey, la cual se caracteriza por tener una máxima demanda eléctrica de 1 000 kW y 1 800 kg/h de vapor saturado y agua caliente con una relación 1,8 kg/h de flujo de agua/kW eléctrico requerido, con una inversión aproximada de 1.5 millones de dólares y un tiempo de retorno de la inversión de 6 años. A diferencia del anterior informe la máxima demanda eléctrica requerida es de 185 kW y la máxima demanda del flujo de agua para obtener agua caliente sanitaria y vapor es de 420 kg/h con una relación de 2,27 kg/h de flujo de agua/kW eléctrico requerido con un grupo electrógeno accionado por un m.c.i; con una inversión de 1 millón de dólares y un pay back similar de 6,5 años.

Labastida (2009) en su tesis para una planta de cogeneración en ciudad universitaria de la Universidad Autónoma de México manifiesta que es posible aprovechar los gases residuales hasta una temperatura de 250 °C de una turbina de gas para generar vapor saturado a baja presión alrededor de 10 a 15 bar y agua caliente de 80° C a 100° C. Se concuerda con el anterior informe que el aprovechamiento de los flujos de energía remanente de los sistemas de gases de la combustión y enfriamiento del motor permiten genera agua caliente sanitaria a 90 °C y vapor saturado a 4 bar de presión.



## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 CONCLUSIONES

- Se determinó la demanda térmica de agua sanitaria del Hospital Eleazar Guzmán Barrón el cual es de 100 kg/h a 90°C en un periodo de tiempo de 5 horas al día de forma continua utilizada para el área de lavado. Del mismo modo se requiere una demanda variable de 370 kg/h de vapor saturado a 2 bar de presión. Siendo la máxima demanda térmica coincidente entre las 11 a 12 del mediodía.
- Se selecciono un grupo electrógeno de 786 kW con gas natural para cubrir la máxima demanda eléctrica de 185 kW, el cual es el sistema de generación de energía del tipo continuo más pequeño existente comercialmente en el Perú.
- Se ha empleado tan solo los flujos de energía remanente en los sistemas de escape de gases de la combustión y del sistema de enfriamiento del motor, con los cuales se cubre la totalidad del agua caliente sanitaria requerida a 90°C y del vapor saturado a 2 bar de presión, análisis que se realizó en el periodo de máxima demanda coincidente al medio día.
- Se dimensionó una planta de cogeneración calificada con un grupo electrógeno accionado por un motor de combustión interna de 786 kW, con el cual se cubre el 100% de la demanda de agua caliente sanitaria, superándose el valor planteado en la hipótesis el cual era igual a 10 %.
- Se determinó el tiempo de retorno de la inversión, siendo de 6.5 años y el TIR igual 14,32 %, valor superior a la tasa de interés del mercado eléctrico, así mismo el Valor del VAN es positivo con el cual de demuestra la viabilidad de implementar una planta de cogeneración calificada con un grupo electrógeno accionado por un motor de combustión interna de 786 kW.

## 5.2 RECOMENDACIONES

El Hospital Eleazar Guzmán Barrón cuanto un requerimiento mínimo de sistemas de refrigeración para climatización y conservación de medicamentos a temperaturas entre -5 a 0 °C, a futuro quedaría pendiente la viabilidad de realizar un estudio de Trigeneración con un sistema de absorción con amoniaco, lo cual es una tecnología existente para su uso, aun presente un costo relativamente elevado su implementación.

Se presenta como una excelente oportunidad de negocios la autogeneración de energía con cogeneración calificada para las empresas de salud, con lo cual cubren las necesidades de la demanda eléctrica y térmica y también pueden obtener beneficios económicos con la inyección de excedentes de energía eléctrica a la red de distribución dentro de la zona de concesión a la cual pertenecen, ya que la normativa nacional e internacional están dadas y en el caso del Perú es el Decreto Supremo N° 037-2006-EM - Reglamento de Cogeneración.

Se puede tomar como modelo el presente informe de tesis para aplicarse en otros centros de salud de mayor capacidad tal como el Hospital Virgen de la Puertas de Trujillo o el Hospital Almenara de Lima, este trabajo es el primero en el Perú que realiza un análisis de recuperación de flujo de calor de los sistemas de gases de la combustión y agua de enfriamiento de un motor de combustión interna acoplado a un grupo electrógeno.

Es necesario con urgencia la masificación del gas natural en la zona de Chimbote, debido al valor agregado que tiene para la generación de agua caliente sanitaria, y sería mucho mayor su efecto si se aplica la cogeneración en el sector industrial.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez Flores, J. Motores de combustión interna. Editorial de la Universidad Politécnica de Cataluña. España. 2010. 520 pp. ISBN 8483018187
- Castro y Salazar. (2010). Guía para la Evaluación de Elegibilidad de Financiación de Proyectos de Eficiencia Energética. Banco de desarrollo para América Latina. [Consulta: 26 de agosto del 2021]. Disponible en: <https://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1300/GUIA%20-%20Cogeneracio%CC%81n%20de%20Energi%CC%81a.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Chunga y Cam. (2013). Influencia del incremento de la potencia efectiva en cogeneración de energía de la empresa Cartavio S.A.A-Perú. Tesis para optar el título de Ingeniero en Energía de la Universidad Nacional del Santa en Perú.
- Cifuentes (2011). Sistemas de cogeneración para el ahorro de energía en la industria. Tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico Eléctrico en Universidad San Carlos de Guatemala.
- Cogenera México (2019). Tecnologías de cogeneración. México. . [Consulta: 15 de agosto del 2021]. Disponible en: <http://www.cogeneramexico.org.mx/public/Cogeneracion/Tecnologias/Conceptos>
- Cuenca y Henríquez. (2012). Estudio de la demanda para el dimensionamiento y fiscalización del montaje de generadores estacionarios para el campus girón. Tesis para optar el título de Ingeniero Electricista en la Universidad Técnica Salesiana de Quito, Ecuador.
- Delgado y Diaz. (2019). Evaluación de proyecto de cogeneración con MCI en la UEB Ludema. Trabajo de Investigación para la Universidad de las Tunas en Cuba.
- Díaz Garay. Esquemas de Cogeneración. Comisión Nacional de Ahorro de Energía de México. 1995. 105 pp.
- Enríquez Harper, G. Tecnologías de generación de energía eléctrica. Editorial Limusa. España. 2008. 386 pp. ISBN 6070501357
- Erices. (2014). “Estudio de factibilidad técnico y económica para implementar plantas de cogeneración para satisfacer necesidades energéticas hasta 9 MW. Tesis

para optar el título de Ingeniero Civil Mecánico en la Universidad de Bio Bio en Chile,

- Gobierno de España (2003). Sistemas de agua caliente sanitaria. Real Decreto 865/2003 de España. [Consulta: 7 de agosto del 2021]. Disponible en: [https://www.mscbs.gob.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/agenBiologicos/pdfs/3\\_1eg.pdf](https://www.mscbs.gob.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/agenBiologicos/pdfs/3_1eg.pdf)
- Gobierno de la Isla Baleares. (2010). Tecnologías eficientes. España. [Consulta: 7 de agosto del 2021]. Disponible en: [http://www.caib.es/conselleries/industria/dgener/user/portalenenergia/pla\\_eficiencia\\_energetica/produccioenergia\\_2.es.html](http://www.caib.es/conselleries/industria/dgener/user/portalenenergia/pla_eficiencia_energetica/produccioenergia_2.es.html)
- Gutiérrez (2016). Planta de cogeneración de 5 MW con MCI para una fábrica de conservas. Tesis para optar el grado de maestro en la Universidad del País Vasco. España.
- Heredia. (2020). Efecto de la implementación de un proceso de Trigeneración sobre el consumo de energía primaria en un hospital. Tesis para optar el título de Ingeniero en Energía de la Universidad Nacional del Santa en Perú.
- Himoina. Grupos Electrónicos. Revista de Generación de Energía Volumen 81. 2016. [Consulta: 6 de febrero del 2021]. Disponible en: <http://www.bibliotecacentral.uni.edu.pe/revistas/energetica/octubre.pdf>
- Instituto de diversificación energética de España. Cogeneración del hospital VALL D'HEBRON (Barcelona). Ministerio de Industria, Turismo y Comercio de España. 2011. [Consulta: 7 de julio del 2021]. Disponible en: [https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/idae/ofrecemos/perfil\\_de\\_contratante/documentos\\_PCT\\_11718.02\\_2011\\_suministro\\_llave\\_en\\_mano\\_planta\\_cogeneracion\\_Hospital\\_Vall\\_d\\_Hebron.\\_14420eed.pdf](https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/idae/ofrecemos/perfil_de_contratante/documentos_PCT_11718.02_2011_suministro_llave_en_mano_planta_cogeneracion_Hospital_Vall_d_Hebron._14420eed.pdf)
- Jožef Stefan Institute, Energy Efficiency Centre.(2014). Por qué y cómo la cogeneración puede hacer a su empresa más rentable y eficiente energéticamente. Jožef Stefan Institute, Energy Efficiency Centre. Alemania. [Consulta: 7 de agosto del 2021]. Disponible en: <http://www.code2-project.eu/wp-content/uploads/how-to-Spanish.pdf>

- KIA Motors. (2020) ¿Cómo funciona el sistema de lubricación de un auto y para qué sirve?. KIA Motors. España. [Consulta: 27 de agosto del 2021]. Disponible en: <https://www.kia.com/pe/util/news/como-funciona-sistema-lubricacion-autos.html>
- Labastida. (2009). Análisis económico-financiero de la inclusión de bonos de carbono a un proyecto de pequeña escala del mecanismo de desarrollo limpio: caso planta de cogeneración en ciudad universitaria. Tesis para optar el grado de Ingeniería en Energía en la Universidad Autónoma de México.
- Marimon. (2011) Modelización y análisis energético de configuraciones de Trigeneración en edificios. Tesis doctoral obtenida en la Universidad de Rovira en Terragona en España.
- Martín y Cabo. Hospital Verde. Ediciones de los Santos. España. 2014. 70 p. ISBN 9788499698595
- Mendoza (2017). Efecto del número de arranques anuales en el incremento del costo de mantenimiento de una central térmica a gas de 25 MW. Tesis para optar el título de Ingeniero en Energía de la Universidad Nacional del Santa en Perú.
- Ministerio de Energía y Minas. Guía de Orientación del Uso Eficiente de la Energía y de Diagnóstico Energético. Ministerio de Energía y Minas. 2014. [Consulta: 27 de julio del 2021]. Disponible en: [https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGEE/eficiencia%20energetica/publicaciones/guias/3\\_%20guia%20hospitales%20DGEE.pdf](https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGEE/eficiencia%20energetica/publicaciones/guias/3_%20guia%20hospitales%20DGEE.pdf)
- Ministerio de salud de España. Sistema de agua caliente sanitaria. Ministerio de Salud de España. (2014). [Consulta: 10 de mayo del 2021]. Disponible en: [https://www.mscbs.gob.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/agenBiologicos/pdfs/3\\_1eg.pdf](https://www.mscbs.gob.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/agenBiologicos/pdfs/3_1eg.pdf)
- Muñoz. (2017) Estudio de factibilidad técnico económica de micro cogeneración residencial. Tesis par optar el título de Ingeniero Mecánico en la Universidad de Valparaíso en Chile.
- Osinergmin (2020). Informe N° 193-2020-GRT Informe para la determinación de los precios en barra 2020-2021. Osinergmin. Perú. 288 p,
- Ponce y Montufar (2014). Diseño, construcción, instalación y puesta en marcha de un sistema de control automatizado para un grupo electrógeno de 6.5 KVA DE MOBHI GRIFOS. Tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico Eléctrico en la Universidad del Altiplano en Puno, Perú.

- Popayan. (2016). Mejoramiento de las líneas de distribución de vapor mediante la reingeniería al área de esterilización, cocina y lavandería del Hospital Regional Eleazar Guzmán Barrón. Tesis para optar el título de Ingeniero en Energía de la Universidad Nacional del Santa en Perú.
- Prias. (2010). Cogeneración. Proyecto de la unidad de planeación minero energética de Colombia (UPME) y el instituto colombiano para el desarrollo de la ciencia y la tecnología. “Francisco José de Caldas” (COLCIENCIAS). [Consulta: 6 de agosto del 2021]. Disponible en: <http://www.si3ea.gov.co/Portals/0/Gie/Tecnologias/cogeneracion.pdf>
- Ramírez. (2016). ¿Cómo funciona el sistema de enfriamiento del motor?. Pagina Web AUTOSOPORTE. [Consulta: 30 de agosto del 2021]. Disponible en: <https://www.autosoporte.com/index.php/blog-automotriz/item/447-como-funciona-el-sistema-de-enfriamiento>
- Ramos. (2012). Optimización del diseño y operación de sistemas de cogeneración para el sector residencial comercial. Tesis doctoral obtenida en la Universidad de Zaragoza en España.
- Renovetec. (2020). Plantas de Cogeneración. Renovetec. España. [Consulta: 25 de agosto del 2021]. Disponible en: <http://www.plantasdecogeneracion.com/sistemasauxiliares.html>
- Rodríguez. (2002). Cogeneración en el hospital San José de Monterrey: uso eficiente de la energía y calidad en el suministro energético tesis para optar el Grado de maestro en Ciencias en el Instituto Superior Tecnológico de Monterrey en México.
- Rojas (2007). Incremento de eficiencia de un motor de combustión interna mediante la recuperación de energía. Tesis para optar el Grado de Maestro en sistemas de manufactura. Instituto Superior Tecnológico de Monterrey. México.
- Rojas (2021). Relacion entre la capacidad de cogeneración y la cobertura de la demanda en empresa Cantarana S.A. Tesis para optar el titulo de Ingeniero en Energía de la Universidad Nacional del Santa en Perú.
- Salinas, Koscina y Fuenzalida. Grupos electrógenos - conceptos y aplicaciones. Ediciones Técnicas de la Corporación Tecnológica de Chile.2018. [Consulta: 25 de julio del 2021]. Disponible en: <http://biblioteca.cchc.cl/datafiles/40827-2.pdf>

- Saura (2015). Estudio de un sistema de recuperación de calor en sistemas de escape en motores de combustión interna. Tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico en la Universidad Politécnica de Cataluña. España.
- Soto. (2017). Evaluación de desempeño de un grupo electrógeno con carga variable. Tesis para optar el título de Ingeniero Civil Eléctrico en la Universidad Nacional de Chile.
- Tamara. (2014). Planta de cogeneración de un motor alternativo de combustión interna para un hospital. Tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico en la Universidad de Cantabria en España.
- Ttacca y Mostajo. (2017). Estudio de la eficiencia energética en los sistemas hospitalarios de salud – hospital II Ayaviri, tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico Electricista en la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Perú.
- Universidad Politécnica de Valencia. Tecnología energética. Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia. España. 2000. 312 pp. ISBN 8477218684

## Índice de Anexos

### Anexo 1 Costos Unitarios de Zona de Concesión Chimbote

#### Pliego Tarifario Máximo del Servicio Público de Electricidad

**Empresa: Hidrandina**

Pliego	Vigencia	Sector	Interconexion
CHIMBOTE	4/Dic/2020	2	SEIN

MEDIA TENSIÓN		UNIDAD	TARIFA
			Sin IGV
<b>TARIFA MT2:</b>	<b>TARIFA CON DOBLE MEDICIÓN DE ENERGÍA ACTIVA Y CONTRATACIÓN O MEDICIÓN DE DOS POTENCIAS 2E2P</b>		
	Cargo Fijo Mensual	S./mes	12.09
	Cargo por Energía Activa en Punta	ctm. S./kW.h	26.51
	Cargo por Energía Activa Fuera de Punta	ctm. S./kW.h	22.11
	Cargo por Potencia Activa de Generación en HP	S./kW-mes	67.47
	Cargo por Potencia Activa de Distribución en HP	S./kW-mes	10.91
	Cargo por Exceso de Potencia Activa de Distribución en HFP	S./kW-mes	11.72
	Cargo por Energía Reactiva que exceda el 30% del total de la Energía Activa	ctm. S./kVar.h	4.68
<b>TARIFA MT3:</b>	<b>TARIFA CON DOBLE MEDICIÓN DE ENERGÍA ACTIVA Y CONTRATACIÓN O MEDICIÓN DE UNA POTENCIA 2E1P</b>		
	Cargo Fijo Mensual	S./mes	9.97
	Cargo por Energía Activa en Punta	ctm. S./kW.h	26.51
	Cargo por Energía Activa Fuera de Punta	ctm. S./kW.h	22.11
	Cargo por Potencia Activa de generación para Usuarios:		
	Presentes en Punta	S./kW-mes	59.64
	Presentes Fuera de Punta	S./kW-mes	37.46
	Cargo por Potencia Activa de redes de distribución para Usuarios:		
	Presentes en Punta	S./kW-mes	11.81
	Presentes Fuera de Punta	S./kW-mes	11.77
	Cargo por Energía Reactiva que exceda el 30% del total de la Energía Activa	ctm. S./kVar.h	4.68
<b>TARIFA MT4:</b>	<b>TARIFA CON SIMPLE MEDICIÓN DE ENERGÍA ACTIVA Y CONTRATACIÓN O MEDICIÓN DE UNA POTENCIA 1E1P</b>		
	Cargo Fijo Mensual	S./mes	9.97
	Cargo por Energía Activa	ctm. S./kW.h	23.19
	Cargo por Potencia Activa de generación para Usuarios:		
	Presentes en Punta	S./kW-mes	59.64
	Presentes Fuera de Punta	S./kW-mes	37.46
	Cargo por Potencia Activa de redes de distribución para Usuarios:		
	Presentes en Punta	S./kW-mes	11.81
	Presentes Fuera de Punta	S./kW-mes	11.77
	Cargo por Energía Reactiva que exceda el 30% del total de la Energía Activa	ctm. S./kVar.h	4.68
BAJA TENSIÓN		UNIDAD	TARIFA
			Sin IGV

Fuente : Osinergmin



Anexo 2 Extracto de precios en barra Informe N° 123-2020-GART

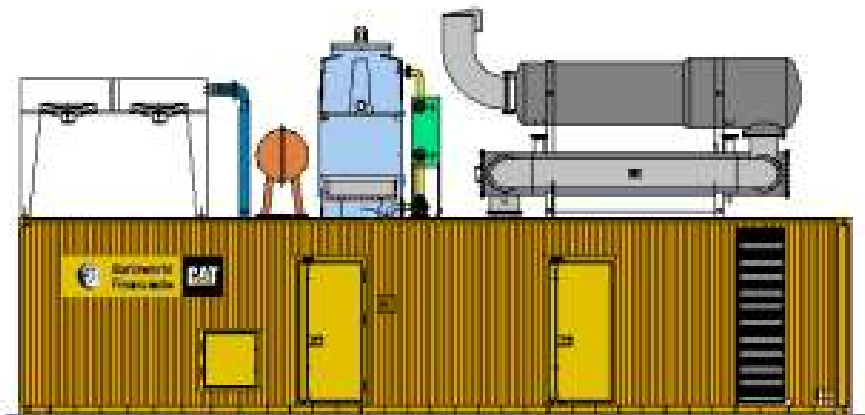
Subestación	Tensión	PPM	PCSPT	PEMP	PEMF
	kV	S/ /kW-mes	S/ /kW-mes	ctm.S/ /kWh	ctm.S/ /kWh
Zorritos	220	20,68	38,627	16,36	15,95
Talara	220	20,68	38,627	16,26	15,87
Piura Oeste	220	20,68	38,627	16,32	15,94
La Niña	220	20,68	38,627	16,17	15,84
Chiclayo Oeste	220	20,68	38,627	16,18	15,84
Carhuaquero	220	20,68	38,627	15,92	15,61
Carhuaquero	138	20,68	38,627	15,93	15,62
Cutervo	138	20,68	38,627	16,09	15,72
Jaén	138	20,68	38,627	16,22	15,85
Guadalupe	220	20,68	38,627	16,18	15,84
Guadalupe	60	20,68	38,627	16,22	15,87
La Ramada	220	20,68	38,627	15,75	15,46
Cajamarca	220	20,68	38,627	15,90	15,59
Trujillo Norte	220	20,68	38,627	16,10	15,79
Chimbote 1	220	20,68	38,627	16,02	15,73
Chimbote 1	138	20,68	38,627	16,03	15,74
Paramonga N.	220	20,68	38,627	15,72	15,49
Paramonga N.	138	20,68	38,627	15,69	15,48
Paramonga E.	138	20,68	38,627	15,62	15,43
Huacho	220	20,68	38,627	15,76	15,55
Lomera	220	20,68	38,627	15,89	15,66
Zapallal	220	20,68	38,627	15,97	15,72
Carabaylo	220	20,68	38,627	15,95	15,70
Ventanilla	220	20,68	38,627	16,00	15,76
La Planicie	220	20,68	38,627	15,95	15,71
Lima	220	20,68	38,627	16,01	15,76
Cantera	220	20,68	38,627	15,88	15,69
Chilca	220	20,68	38,627	15,83	15,61

Fuente: Informe N° 123-2020-GART

## Anexo 3 Catalogo Grupo Electrógeno



Módulo cogeneración  
Caterpillar G3512  
786 kW



**MÓDULO DE COGENERACIÓN  
PARA GRUPO MOTOR-GENERADOR  
CATERPILLAR G3512**

**786 KW @ 1500 RPM  
400 V - 50 HZ**



### ALCANCE DE SUMINISTRO

El módulo de cogeneración es un sistema totalmente montado y listo para funcionar que proporciona energía eléctrica y agua caliente en un espacio reducido y que se instala fácilmente y se puede adaptar a las necesidades de múltiples aplicaciones.

Este módulo se ofrece en contenedor insonorizado de 40' que permite un nivel de ruido reducido apto para la mayoría de los entornos industriales. En caso de instalación en ambientes urbanos o residenciales, se pueden estudiar soluciones personalizadas que cumplan con los requisitos acústicos y estéticos particulares.

El usuario final simplemente tendrá que conectarse a bridas de circuito de agua de recuperación, a la brida de suministro de gas, ambas en pared de contenedor, y al embarrado del interruptor de protección de grupo en el extremo del contenedor.

El módulo de cogeneración es una solución que ofrece las siguientes ventajas:

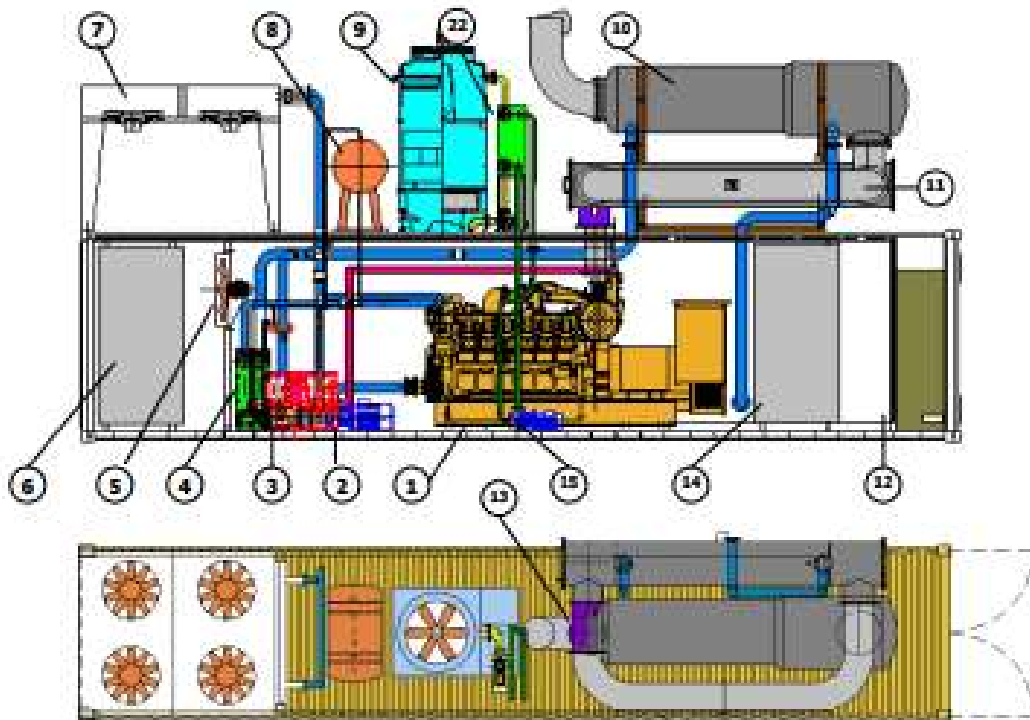
- No requiere realización de obra civil costosa. Solamente hay que tener un suelo con suficiente resistencia y planitud.
- Está listo para funcionar una vez montado en obra. Se evitan molestias e interferencias con las actividades productivas principales.
- Ocupa poco espacio, al ser un equipo muy compacto.
- Menor coste de inversión, frente a instalaciones en sala.
- Plazo reducido, debido al diseño modular.
- Diseño probado, proporcionando mayor fiabilidad.
- Fácil financiación, debido a la movilidad del equipo.

Especificaciones módulo G3512	
Potencia eléctrica	786 kW <sub>e</sub>
Calor recuperable	930 kW
Tª salida máxima (T <sub>s</sub> )	93°C (Q 48,4 m <sup>3</sup> /h)
Nivel sonoro	82 dBA a 1m, s/ISO 8528

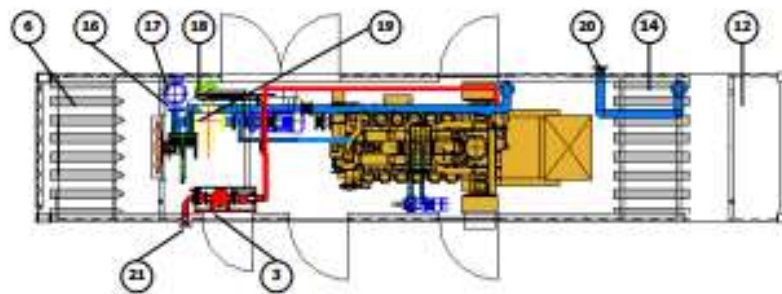
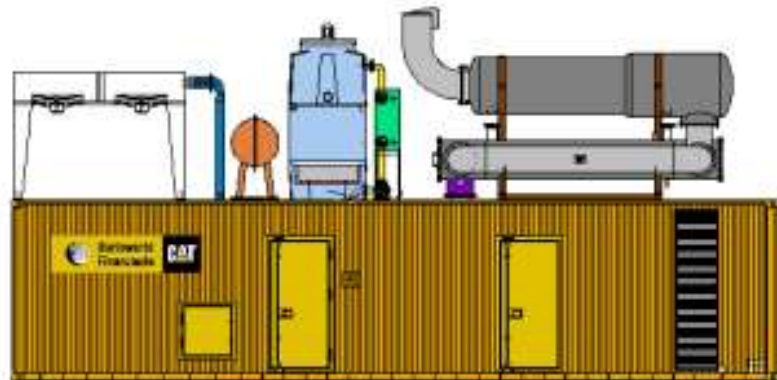
El módulo de cogeneración está formado por el conjunto totalmente montado de los siguientes elementos:

- Grupo electrógeno Caterpillar a gas natural modelo G3512 de 786 kW a 1500 rpm, 50 Hz, 400 V.
- Circuito de recuperación de calor de agua de camisas y gases de escape mediante intercambiador de calor de placas y recuperador de calor de gases de escape, incluyendo bomba para movimiento de agua.
- Instalación de escape compuesta por silencioso de escape, distribuidor y recuperador de escape.
- Torre abierta con intercambiador de aislamiento de circuitos para refrigeración de calor de postenfriador
- Aerorefrigerador para evacuación de calor de agua de camisas en caso de que no se recupere.
- Cuadro de control y acoplamiento con red, incluyendo interruptor automático motorizado.
- Rampa de corte para suministro de gas a motor.
- Equipo de medida de energía térmica en agua.
- Instalación de suministro de aceite a motor, incluyendo depósito de 300 litros y bomba de trasiego.
- Contenedor insonorizado que alberga grupo, cuadro, bombas, ventiladores intercambiador, rampa de gas y equipos de medida en su interior y aerorefrigerador, torre, depósito de aceite, silencioso de escape, distribuidor de gases de escape y recuperador sobre el techo, proporcionando un nivel de ruido global de 82 dBA a 1m.

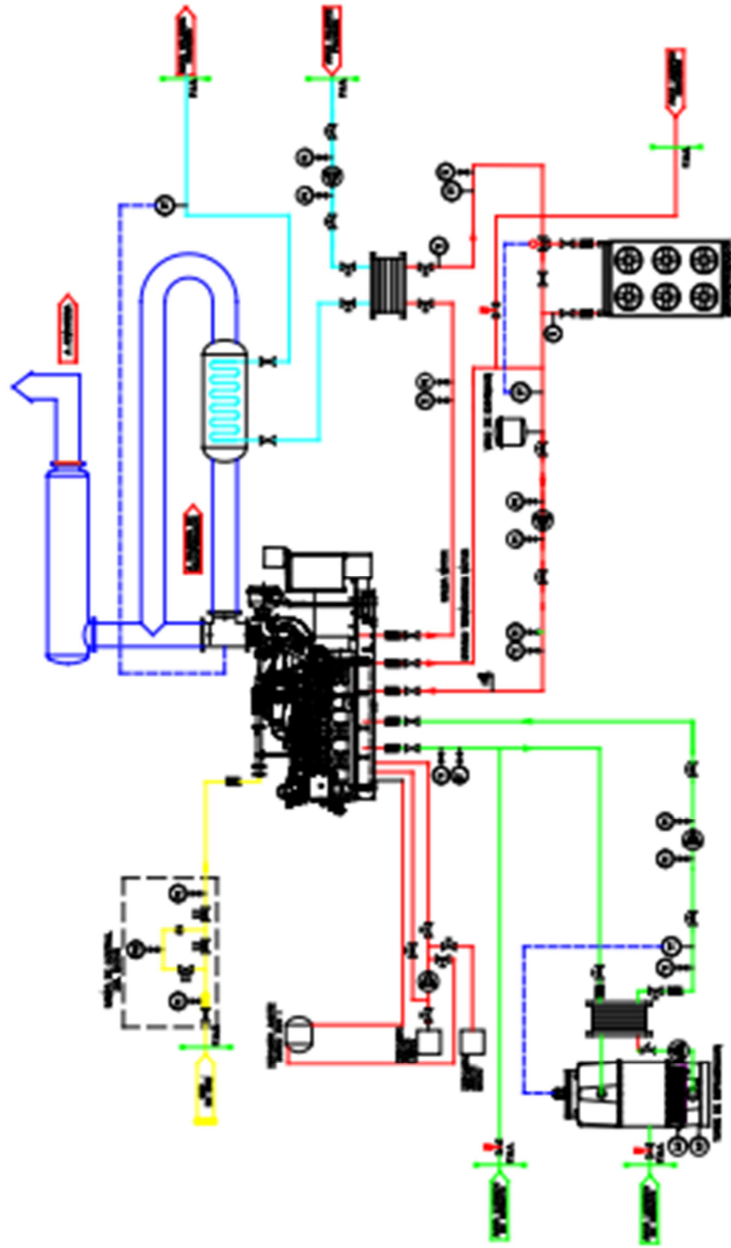
**MÓDULO DE COGENERACIÓN**



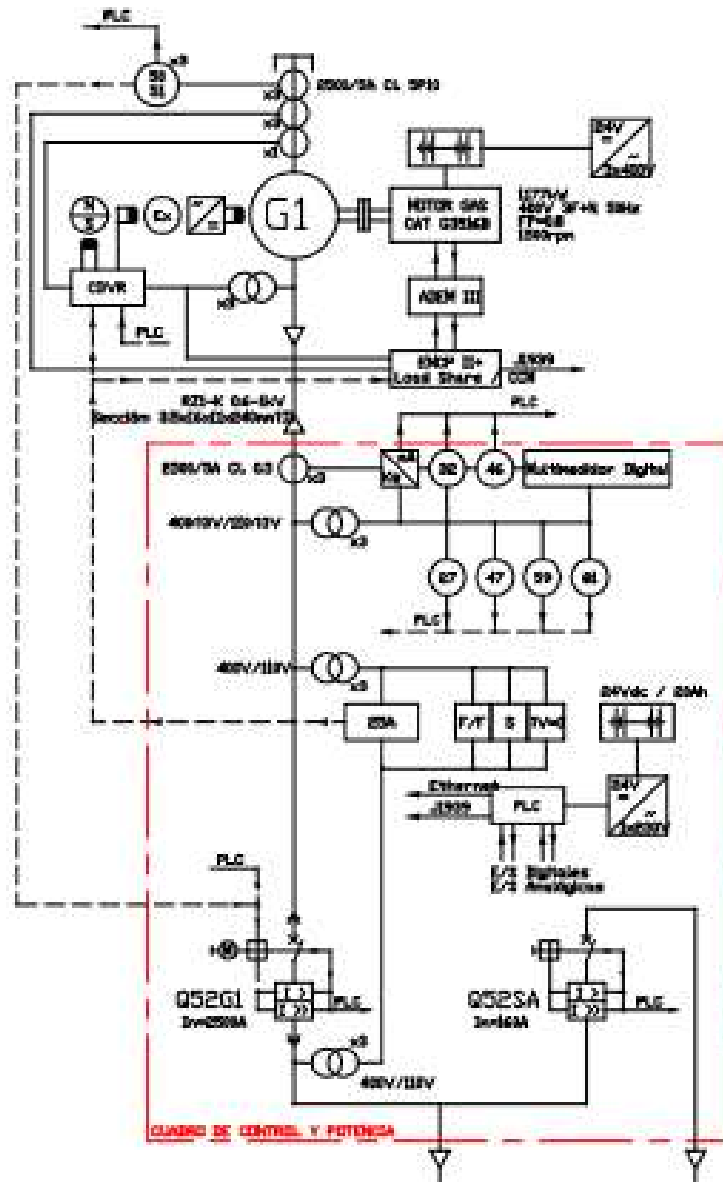
- |                               |   |
|-------------------------------|---|
| ① Grupo electrógeno           | ⑦ Aereorefrigerador                       |
| ② Bomba de primario motor     | ⑧ Depósito de aceite                      |
| ③ Rampa de corte de gas       | ⑨ Torre refrigeración postenfriador       |
| ④ Intercambiador agua camisas | ⑩ Silencioso de escape                    |
| ⑤ Ventilador                  | ⑪ Recuperador de gases de escape          |
| ⑥ Silencioso salida de aire   | ⑫ Cuadro de control y armario de potencia |



- |   |  |
|---|--|
| 12 Distribuidor de escape               | 18 Bomba de llenado/vaciado aceite       |
| 14 Silencioso entrada aire              | 19 Válvula tres vías                     |
| 15 Bomba circuito postenfriador         | 20 Salida circuito recuperación          |
| 16 Bomba circuito recuperación de calor | 21 Entrada de gas                        |
| 17 Entrada circuito recuperación        | 22 Intercambiador circuito postenfriador |



Límites de suministro FSA





**DATOS TÉCNICOS**
**GRUPO ELECTRÓGENO**

VELOCIDAD MOTOR (RPM)	1500	COMBUSTIBLE	Gas Nat.
RELACION DE COMPRESION	12:1	PCI GAS (MJ/Nm <sup>3</sup> )	36,1
T° ENTRADA POSTENFRIADOR (°C)	32	N° DE METANO MINIMO	70
T° SALIDA AGUA DE CAMISAS (°C)	99	ALTITUD (m)	500
SISTEMA DE ENCENDIDO	EIS	TEMPERATURA ATM. (°C)	25
COLECTOR DE ESCAPE	SECO	RTO. ALTERNADOR (cosφ=1)	97,1

**POTENCIAS Y RENDIMIENTOS**

		100%	75%	50%
POTENCIA AL FRENO	bkW	810	608	405
POTENCIA ELÉCTRICA (cosφ=1)	ekW	786	588	389
RENDIMIENTO DEL MOTOR	%	38,3	36,6	33,8
RENDIMIENTO ELÉCTRICO	%	37,1	35,4	32,5
RENDIMIENTO TERMICO	%	44,0	46,9	51,1
RENDIMIENTO TOTAL	%	81,1	82,3	83,6

**DATOS DEL MOTOR**

CONSUMO DE COMBUSTIBLE	MJ/bkWh	9,40	9,85	10,64
CAUDAL VOLUMETRICO DE AIRE	Nm <sup>3</sup> /bkWh	4,02	4,15	4,33
CAUDAL MASICO DE AIRE	kg/bkWh	5,20	5,36	5,59
PRESION EN COLECTOR DE ADMISION	KPAa	222	176	161
TEMPERATURA COLECTOR DE ADMISION	°C	55	52	50
TIMING	°BTDC	20	20	20
TEMPERATURA DE ESCAPE	°C	518	524	528
CAUDAL VOLUM. GASES ESCAPE (HUMEDO)	Nm <sup>3</sup> /bkWh	4,32	4,45	4,65
CAUDAL MASICO GASES ESCAPE (HUMEDO)	kg/bkWh	5,40	5,56	5,82

**EMISIONES**

NO <sub>x</sub> (como NO <sub>2</sub> ) (corr. 5% O <sub>2</sub> )	mg/Nm <sup>3</sup>	500	500	500
CO (corr. 5% O <sub>2</sub> )	mg/Nm <sup>3</sup>	957	921	903
HCT (corr. 5% O <sub>2</sub> )	mg/Nm <sup>3</sup>	1703	1926	2142
HCNM (corr. 5% O <sub>2</sub> )	mg/Nm <sup>3</sup>	256	289	322
O <sub>2</sub>	%	8,9	8,8	8,6

**BALANCE TERMICO**

CONSUMO COMBUSTIBLE PCI	kW	2116	1661	1197
POT. TERMICA AGUA CAMISAS	kW	331	302	267
POT. TERMICA ACEITE	kW	52	48	42
POT. TERMICA POSTENFRIADOR	kW	133	78	33
RADIACION DEL MOTOR	kW	80	67	53
POT. TERMICA ESCAPE (PCI A 25°C)	kW	709	559	397
POT. TERMICA ESCAPE (PCI A 120°C)	kW	547	429	303

Nota: datos según hoja de especificación S02-35-034 (01) de 29-Jul-02.

## CONDICIONES Y DEFINICIONES

- Potencia del motor según ISO 3046/1. Los datos están dados a temperatura 25°C, presión: 100 kPa (abs) altitud 152 m.
- No se admite sobrecarga.
- Los niveles de emisiones se basan en el motor funcionando en condiciones estables y ajustado al nivel de NO<sub>x</sub> especificado al 100% de carga. Las tolerancias especificadas para las emisiones dependen de la calidad del gas. El número de metano no debe variar más de ± 3..

## TOLERANCIAS

Consumo PCI:	+ 5%
Potencia térmica en agua de camisas, aceite y gases de escape:	± 8%
Potencia térmica en postenfriador:	± 8%
Radiación del motor:	± 25%

## NOTAS

1. Potencia continua y condiciones de referencia según norma ISO 3046/1:  
Temperatura: 25 °C, presión: 1000 mbar(abs)
2. Potencia eléctrica para un rendimiento del alternador de 97,1% y  $\cos\phi=1$   
Potencia eléctrica = potencia del motor x rendimiento del alternador
3. Emisiones medidas en gases de escape secos. Valores máximos.
4. Rendimiento térmico= (Pot. térmica en agua camisas+ Pot. Térmica en aceite+Pot. térmica en escape a 120 °C)/Consumo PCI
5. Rendimiento total = Rendimiento eléctrico + Rendimiento térmico
6. Los valores de potencia indicados son válidos en condiciones estándar. Para diferentes condiciones, aplicar el factor de dotaraje adjunto:

	0 m	250 m	500 m	750 m	1000 m	1250 m	1500 m	1750 m	2000 m
50 °C	0,96	0,93	0,91	0,88	0,85	0,82	0,80	0,77	0,75
45 °C	0,98	0,95	0,92	0,89	0,86	0,84	0,81	0,79	0,76
40 °C	0,99	0,96	0,93	0,91	0,88	0,85	0,82	0,80	0,77
35 °C	1	0,98	0,95	0,92	0,89	0,86	0,84	0,81	0,78
30 °C	1	1	0,97	0,94	0,91	0,88	0,85	0,82	0,80
25 °C	1	1	0,98	0,95	0,92	0,89	0,87	0,84	0,81
20 °C	1	1	1	0,97	0,94	0,91	0,88	0,85	0,82
15 °C	1	1	1	0,98	0,95	0,92	0,90	0,87	0,84
10 °C	1	1	1	1	0,97	0,94	0,91	0,88	0,85

7. Los motores G3500 están diseñados para funcionar al 100% de carga aunque pueden funcionar a cargas parciales siempre y cuando no se exceda lo siguiente:
  - 0 a 30% durante 30 minutos
  - 31 a 50% durante 2 horas
  - 51 a 100% funcionamiento continuo

## RECUPERACIÓN DE CALOR

	Notas		100%
CALOR RECUPERABLE	(8)	kW	930
CAUDAL MÁXIMO	(9)	m <sup>3</sup> /h	76
SALTO TÉRMICO		°C	11
CAUDAL NOMINAL		m <sup>3</sup> /h	48,4
SALTO TÉRMICO		°C	17
CAUDAL MÍNIMO		m <sup>3</sup> /h	38
SALTO TÉRMICO		°C	22
TEMPERATURA DE SALIDA NOMINAL			80
TEMPERATURA DE SALIDA MÁXIMA	(10)	°C	93
PRESIÓN DISPONIBLE NOMINAL EN BOMBA	(11)	m. c.d.a.	20
CAUDAL DE AIRE DE VENTILACIÓN		m <sup>3</sup> /h	45000
TEMP. AMBIENTE MÁXIMA REFRIGERACIÓN	(28)	°C	39
RUIDO A 1m	(29)	dBA	82
PRESIÓN DE GAS MÁXIMA	(30)	mbar	300
PRESIÓN DE GAS MÍNIMA	(30)	mbar	150
FLUCTUACIÓN MÁXIMA PRESIÓN		Mbar	+/-17

8. Incluye Calor recuperado en circuito de agua de camisas y en escape.
9. Para caudales máximos puede resultar necesario cambiar la bomba suministrada como estándar. En caso de solicitar dicho caudal, consulte el dimensionamiento de la bomba a su contacto en Finanzauto.
10. Tolerancia aplicable de -2°C. Calculado para condiciones nominales.
11. Presión disponible entre las bridas de entrada y salida al circuito de recuperación de calor, para caudal nominal, que se empleará en vencer las pérdidas de carga de los elementos de aprovechamiento de calor de proceso.
12. Temperatura máxima para la que está diseñado el sistema de refrigeración.
13. Según ISO 8528
14. A la entrada de la rampa de corte a pie de motor.

## DIMENSIONES Y PESOS

Largo	12192 mm
Ancho	2500 mm
Alto	5850 mm
Peso	43000kg

## Anexo 4 Catalogo de Maquina Lavadora

### ESPECIFICACIONES DE LAVADORA DE ROPA INDUSTRIAL LRI-30

- Modelo	LRI-30
- Marca	IMKA
- Tipo	Horizontal
- Capacidad	66 Lbs. por ciclo
- Producción	132 Lbs/h.
- Dimensiones	160 x 100 x 115 cm. (ancho x fondo x alto)
- Tambor Exterior	Fabricado en planchas de acero inoxidable AISI, calidad 304-2B. Puerta con manija tubular en acero inoxidable para un fácil deslizamiento.
- Tambor Interior	Fabricado en planchas de acero inoxidable AISI, calidad 304-2B. Perforada tipo tamborido y con alitas lineales. φ 75 x 90 cm. (diámetro x longitud). 397 litros (volumen).
- Ejes	Acero inoxidable de φ 2".
- Columnas	Fabricado en estructura angular extra fuerte, con forros en plancha de acero inoxidable AISI, calidad 304-2B. Puertas desmontables para un fácil acceso a su mantenimiento.
- Transmisión	Por medio de poleas y fijs trapezoidales.
- Sellos de Seguridad	Puerta Estopos de acero inoxidable para un sellado hermético.
- Motor	Trifásico: 2.0 HP, 1.5 KW, 220 V., 60 Hz.
- Tablero de Control	Varidor de Velocidad para un arranque progresivo (doble sentido). PLC para la secuencia y control de actividades. Control de tiempo de lavado mediante un temporizador. Pulsadores de Encendido, Apagado y Búsqueda Puerta. Indicadores Lámparas de Energía y Activado. Visor de temperatura mediante un termómetro analógico. Alarma auditiva para el fin de ciclo del proceso.
- Seguridad	Micro-switch que bloquea el proceso de lavado cuando se abre la puerta.
- Rotación del Tambor	30 RPM
- Nivel de Agua	Fabricado en acero inoxidable, ubicado en la parte frontal.
- Presión de Vapor requerida:	(6 - 6.7) barg - (87 - 94) psig
- Presión máxima vapor:	7 barg (102 psig)
- Consumo de vapor:	90 Lbs/h - (40.86 kg/h)
- Conexiones	Entrada de Agua de φ 1" tipo válvula esférica. Entrada de Vapor de φ 1/2" tipo válvula esférica. Drenaje de φ 3/4" tipo electroválvula.



Fuente : Jefatura Área de Mantenimiento HREGB

Anexo 5 Presupuesto Instalación de Planta Cogeneración Calificada.

DESCRIPCION	Moneda Extranjera Miles U\$
Precio Grupo Electrogenerador 786 kW	300,00
Precio TRAFIO 1000 kVA	250,00
Precio GVRC (Generador de vapor)	100,00
Montaje Electromecánico	60,00
Adecuación de Instalaciones de distribución	22,00
Pruebas y puesta en marcha	10,00
Obras Civiles	46,00
Instalación y acometida de gas natural	20,00
Supervisión	10,00
Gastos Generales-Utilidad Contratista	30,00
Subtotal	848,00
IGV	152,64
<b>COSTO TOTAL DE INVERSION</b>	<b>1000,64</b>
Nota : Grupo Electrogenerador incluye 02 recuperadores de Calor	



### DECLARACION JURADA DE AUTORÍA

Yo, Richar Ravello Aguilar Lliuya, Bachiller de la

Facultad:	Ciencias		Educación		Ingeniería	X
Escuela Profesional:	Ingeniería en Energía					
Departamento Académico:						
Escuela de Posgrado	Maestría		Doctorado			
Programa:						
De la Universidad Nacional del Santa; Declaro que el trabajo de investigación es un <b>trabajo inédito</b> , intitulado:						
COGENERACIÓN DE ENERGÍA CON GRUPOS ELECTRÓGENOS PARA LA GENERACIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA.						
presentado en ..... folios, para la obtención del Grado académico:						( )
Título profesional:	(X)	Investigación anual:			( )	
<ul style="list-style-type: none"><li>➤ He citado todas las fuentes empleadas, no he utilizado otra fuente distinta a las declaradas en el presente trabajo.</li><li>➤ Este trabajo de investigación no ha sido presentado con anterioridad ni completa ni parcialmente para la obtención de grado académico o título profesional.</li><li>➤ Comprendo que el trabajo de investigación será público y por lo tanto sujeto a ser revisado electrónicamente para la detección de plagio por el VRIN.</li><li>➤ De encontrarse uso de material intelectual sin el reconocimiento de su fuente o autor, me someto a las sanciones que determinan el proceso disciplinario.</li></ul>						
Chimbote, enero del 2022						
Firma:						
Nombres y Apellidos: Richar Ravello Aguilar Lliuya						
DNI: 43240802						

## Facultad de Ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería en Energía

### Informe del Asesor Informe de Tesis para obtener el título profesional

- 1) Apellidos/Nombres: Richard Ravello Aguilar Lliuya.
- 2) Título de la Tesis: COGENERACIÓN DE ENERGÍA CON GRUPOS ELECTRÓGENOS PARA LA GENERACIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA.”
- 3) Evaluación del Contenido: La presente tesis para título reúne las condiciones metodológicas de la investigación científica y está en conformidad con los Artículos N° 39 y 40 del Reglamento General de Grados y Títulos vigente de la Universidad Nacional del Santa, concluyéndose que el tesista ha elaborado el presente informe dentro de las líneas de investigación que promueve la E.P.I.E.
- 4) Observaciones Ninguna
- 5) Certificación de Aprobación: En calidad de asesor certifico la aprobación de la tesis para título.

Fecha: Nuevo Chimbote, enero del 2022.



Mg Gualberto Antenor Mariños Castillo  
Asesor

## TESIS REVISION FINAL

### FORMAS DE CONSULTA

<b>24%</b>	<b>24%</b>	<b>1%</b>	<b>7%</b>
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJO DEL ESTUDIANTE

### FUENTES PRINCIPALES

<b>1</b>	<b>repositorio.uns.edu.pe</b> Fuente de internet	<b>15%</b>
<b>2</b>	<b>www.scribd.com</b> Fuente de internet	<b>2%</b>
<b>3</b>	<b>Submitted to Universidad Cesar Vallejo</b> Trabajo del estudiante	<b>1%</b>
<b>4</b>	<b>rocacalderas2.wordpress.com</b> Fuente de internet	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>docplayer.es</b> Fuente de internet	<b>1%</b>
<b>6</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de internet	<b>1%</b>
<b>7</b>	<b>zaguan.unizar.es</b> Fuente de internet	<b>1%</b>
<b>8</b>	<b>www.kia.com</b> Fuente de internet	<b>1%</b>
<b>9</b>	<b>Submitted to Aliat Universidades</b> Trabajo del estudiante	<b>1%</b>



**10** intranet.cip.org.pe **1**%  
Fuente de Internet

---

**11** repositorio.unap.edu.pe **1**%  
Fuente de Internet

---

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Apagado