

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



**Efecto de la implementación de un sistema de  
trigeneración de energía en la cobertura de la energía en  
el Hospital la Caleta de Chimbote**

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

**Autor:**

Bach. Mariños Bancayan, Oscar Franco

**Asesor:**

Dr. Aranguri Cayetano, Denis Javier

DNI 42009679

Código ORCID: 0000-0002-6119-2072

Nuevo Chimbote-Peru

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



**CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR**

El presente Informe Final de Tesis ha sido revisado y desarrollado en cumplimiento del objetivo propuesto y reúne las condiciones formales y metodológicas, estando encuadrado dentro de las áreas y líneas de investigación conforme al reglamento general para obtener el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa (Resolución N° 580-2022-CU-R-UNS) de acuerdo a la denominación siguiente:

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero en Energía

“Efecto de la implementación de un sistema de trigeneración de energía en la cobertura de la energía en el hospital la caleta de Chimbote”

AUTOR:

Bach. Mariños Bancayan, Oscar Franco

Dr. Aranguí Cayetano, Denis Javier  
Asesor

DNI 42009679

Código ORCID: 0000-0002-6119-2072



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

### ACTA 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° 580-2022-CU-R-UNS); titulado:

**"Efecto del tipo de refrigerante en el dimensionamiento de una planta de congelados de 4 toneladas de capacidad. Mercado tres estrellas-Chimbote"**

**Autora:**

Bach. Mariños Bancayan, Oscar Franco

Revisado y evaluado por el siguiente Jurado Evaluador.

.....  
Dr. Mariños Castillo, Gualberto Antenor  
Presidente  
Código ORCID: 0000-0001-7514-9908  
DNI 17890841

.....  
Mg. Guevara Chinchayán, Robert Fabian  
DNI 32788460  
Código ORCID: 0000-0002- 3579-3771

.....  
Dr. Arangén Cayetano, Denis Javier  
DNI 42009679  
Código ORCID: 0000-0002-6119-2072

## ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

A los 30 días del mes de noviembre del año dos mil veintitrés, siendo las once horas de la mañana, se reunieron en el aula E3 de la EPIE, el Jurado Evaluador designado mediante Resolución N°245-2023-UNS-CFI de fecha 02.05.2023, integrado por los siguientes docentes:

- Dr. Gualberto Antenor Mariños Castillo                      Presidente
- Mg. Robert Fabián Guevara Chinchayán                      Secretario
- Dr. Denis Javier Arangurí Cayetano                            Integrante

Y según la Resolución Decanal N° 818-2023-UNS-FI de fecha 21.11.23, se declara expedito al bachiller para dar inicio a la sustentación y evaluación de la Tesis titulada: "EFECTO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TRIGENERACIÓN DE ENERGÍA EN LA COBERTURA DE LA ENERGÍA EN EL HOSPITAL LA CALETA DE CHIMBOTE" elaborado por el Bachiller de Ingeniería en Energía: OSCAR FRANCO MARIÑOS BANCAYAN con código de matrícula N° 0201411038, teniendo como asesor al docente Dr. Denis Javier Arangurí Cayetano, según Resolución Decanal N° 572-2021-UNS-FI de fecha 26.10.21.

Terminada la sustentación del 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
OSCAR FRANCO MARIÑOS BANCAYAN	17	Bueno

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

  
Dr. Gualberto Antenor Mariños Castillo  
PRESIDENTE

  
Dr. Denis Javier Arangurí Cayetano  
INTEGRANTE

  
Mg. Robert Fabián Guevara Chinchayán  
SECRETARIO



## Digital Receipt

This receipt acknowledges that Turnitin received your paper. Below you will find the receipt information regarding your submission.

The first page of your submissions is displayed below.

Submission author: OSCAR MARIÑOS BANCAYAN  
Assignment title: TESIS REVISION  
Submission title: Efecto de la implementación de un sistema de trigeneración...  
File name: TESIS\_MARI\_OS\_DEFINITIVA.pdf  
File size: 2.1M  
Page count: 107  
Word count: 23,950  
Character count: 122,558  
Submission date: 16-Mar-2024 09:27PM (UTC-0500)  
Submission ID: 2320651291



## Efecto de la implementación de un sistema de trigeneración de energía en la cobertura de la energía en el Hospital la Caleta de Chimbote

### ORIGINALITY REPORT

<b>23%</b> SIMILARITY INDEX	<b>23%</b> INTERNET SOURCES	<b>2%</b> PUBLICATIONS	<b>%</b> STUDENT PAPERS
--------------------------------	--------------------------------	---------------------------	----------------------------

### PRIMARY SOURCES

<b>1</b>	<b>repositorio.uns.edu.pe</b> Internet Source	<b>14%</b>
<b>2</b>	<b>repositorio.untumbes.edu.pe</b> Internet Source	<b>1%</b>
<b>3</b>	<b>hdl.handle.net</b> Internet Source	<b>1%</b>
<b>4</b>	<b>1library.co</b> Internet Source	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>docplayer.es</b> Internet Source	<b>1%</b>
<b>6</b>	<b>renati.sunedu.gob.pe</b> Internet Source	<b>1%</b>
<b>7</b>	<b>repositorio.uta.edu.ec</b> Internet Source	<b>1%</b>
<b>8</b>	<b>dokumen.pub</b> Internet Source	<b>&lt;1%</b>

**repositorio.upa.edu.pe**

## DEDICATORIA

Agradecer a Dio, a mis profesores en general  
y a mis padres mis padres que estuvieron conmigo  
siempre y me dieron su apoyo incondicional  
continuo en todo el tiempo de mi proceso.

O.F.M.B

## RECONOCIMIENTO

Agradecimiento a mi asesor Dr. Denis Aranguri, quien me apoyo y brindo sus conocimientos en todo momento de la elaboración de la tesis.

También agradecer a todos los docentes de la Universidad Nacional del Santa quienes nos brindaron las enseñanzas necesarias para poder ser un profesional con ética y moral.

Atentamente,

O.F.M.B

## INDICE GENERAL

### INDICE

### RESUMEN

CAPITULO I: Introducción.	1
1.1 Realidad Problemática	1
1.2 Antecedentes	2
1.3 Justificación	7
1.4 Hipótesis	7
1.5 Objetivos	7
CAPITULO II: Marco Teórico.	9
2.1 Cogeneración	9
2.2 Refrigeración por absorción	17
2.3 Trigeneracion	26
2.4 Sistema de recuperación de calor para emplear en trigeneracion	35
2.5 Requerimientos de energía en centros de salud	39
CAPITULO III: Material y método	41
3.1 Material	41
3.2 Método	46
CAPITULO IV: Cálculos y resultados	51
4.1 Determinación de la demanda térmica requerida	51
4.2 Caracterización del grupo electrógeno para la cobertura de la máxima Demanda eléctrica y térmica	57
4.3 Selección de la mejor alternativa de cogeneración calificada	62
4.4 Estimación de los beneficios de la trigeneracion	63
4.5 Discusión de resultados	68
Conclusiones	72
Recomendaciones	73
Referencias bibliográficas	74
Anexos	82

## INDICE DE FIGURAS

Figura N° 1 Distribución típica de flujos de energía en un MCI experimental	14
Figura N° 2 Diagrama de carga de cogeneración calificada	16
Figura N° 3 Esquema básico de un sistema de refrigeración por absorción	18
Figura N° 4 Flujos en sistema de refrigeración por absorción de simple efecto.	23
Figura N° 5 Distribución de equipos en sistema de refrigeración con BrLi	24
Figura N° 7 Comparativo entre Sistemas de Trigeneración y Sistema de suministro convencional de energía.	28
Figura N° 8 Flujo de calor remanentes en un motor alternativo	32
Figura N° 9 Esquema de distribución de flujos de un mci.	33
Figura N° 10 Balance de energía en mci.	34
Figura N° 11 Evolución del rendimiento de un mci con gas natural con la carga	35
Figura N° 12 Caldera recuperadora de calor para vapor a baja presión	38
Figura N° 13 Refrigeradoras de Vacunas	42
Figura N° 14 Distribución de Flujo de Energía en Sistema de Absorción	44
Figura N° 15 Parámetros de cogeneración calificada para un MCI	46
Figura N° 16 Sistema actual de cobertura de demanda térmica	49
Figura N° 17 Sistema propuesta para cobertura de demanda térmica	50
Figura N° 18 Distribución de parámetros de cálculo en Sistema de Absorción	56
Figura N° 19: Trigeneración con Modelo 1 SG350	58
Figura N° 20: Trigeneración con Modelo 2 SG750	59
Figura N° 21: Trigeneración con Modelo 3 G3412	60
Figura N° 22: Trigeneración con Modelo 4 G3516	61
Figura N° 23: Ingresos y egresos de la tecnología de trigeneración propuesta	66
Figura N° 24: Propuesta final de sistema de trigeneración	67

## INDICE DE TABLAS

Tabla N° 1 Análisis comparativo entre tecnologías de microtrigeneración	30
Tabla N°2 Información técnica de Calderas Piro tubulares	44
Tabla N°3 Matriz de selección de alternativa	62
Tabla N°4 Determinación de la facturación eléctrica mensual	63
Tabla N°5 Determinación de la facturación por combustible mensual	64
Tabla N°6 Determinación de los beneficios económicos por trigeneración de Energía	65

## **RESUMEN**

El Hospital La Caleta de Chimbote presta el servicio de salud pública, para lo cual requiere cubrir una máxima demanda eléctrica de 110 kW y 81,91 kW térmicos inicialmente para consumos de vapor saturado. Mediante la instalación de un sistema de refrigeración por absorción acoplado a un grupo electrógeno conformantes de un sistema de trigeneracion de energía, con lo cual la demanda térmica requerida es de 113,51 kW.

El trabajo de investigación es del tipo pre -experimental, de naturaleza descriptiva. 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.

Se dimensiono el sistema de trigeneracion de energía a través de 4 modelos teniendo como base grupos electrógenos con gas natural comerciables en el Perú, seleccionándose el Modelo 3 G3412 de 433 kW de potencia eléctrica efectiva, del cual se aprovechan el flujo de calor sensible de los gases remanentes de la combustión a 500 °C, de los cuales se aprovechan el 63,9% para la cobertura de la demanda térmica de vapor y del sistema de refrigeración por absorción, así como el exceso de energía eléctrica generado que es inyectada a la red es de 74%. Se determinaron los beneficios económicos, obteniéndose valores de un ahorro mensual de 6 245,9 U\$ al dejar de comprar los insumos energéticos actuales (energía eléctrica y combustible petróleo BD5) e ingresos por venta de energía como cogenerador de calificado de 8 258,7 U\$ (lo que representa el 44,44 % de lo comercializado).

Palabras clave: Trigeneracion, grupos electrógenos, refrigeración por absorción.

## **ABSTRACT**

The Caleta Hospital of Chimbote provides the public health service, for which it requires covering a maximum electrical demand of 110 kW and 81.91 kW thermal initially for saturated steam consumption. The installation of an absorption refrigeration system with a generator set forming an energy trigeneration system is proposed, with which the required thermal demand is 113.51 kW.

The research work is of the pre-experimental type, of a descriptive nature. The pre-experimental research design is used to establish a relationship between cause and effect of a situation. It is a research design where the effect caused by the independent variable on the dependent variable is observed.

The energy trigeneration system was dimensioned through 4 models based on commercial natural gas generator sets in Peru, selecting the Model 3 G3412 of 433 kW of effective electrical power, which takes advantage of the sensible heat flow of the remaining combustion gases at 500 °C, of which 63.9% are used to cover the thermal demand for steam and the absorption refrigeration system, as well as the degree of use of the maximum is 74 %. The economic benefits were determined, obtaining values of a monthly saving of 6,245.9 U\$ by stopping buying current energy inputs (electricity and BD5 oil fuel) and income from the sale of energy as a qualified cogenerator of 8,258.7 U\$ (representing 44.44% of what was traded).

KEY WORD: Trigeneration, generator sets, absorption refrigeration.

## **1. Capítulo I: Introducción.**

### **1.1 Realidad problemática**

La última crisis sanitaria global ocasionada por el coronavirus generó grandes efectos sobre la economía mundial a todos los países, y se evidenció una vez más la importancia de la energía en todos sus niveles para poder dar sostenibilidad a los diversos productivos y de servicio. Al margen de la reducción del consumo de combustibles para el sector transporte, la energía eléctrica y los combustibles siempre fueron requeridos en los centros de salud y hospitales para enfrentar los servicios médicos de urgencia, evidenciándose la importancia de la energía y su cadena de suministro, así como de la necesidad de ser eficientes energéticamente para reducir los costos de energía sobre todos para las entidades de salud pública.

El equipamiento de los centros de salud se vio provisto de energía segura ya sea para los ventiladores, equipos covid, conservadores de vacunas, cocinas, lavandería, esterilizadores entre otros. No se han supuesto los casos en los cuales la energía eléctrica y el petróleo habrían escaseado y no hubiesen llegado a los centros de salud. Se evidenció en algunos casos en otros países la ausencia de energía eléctrica y grupos electrógenos de respaldo ocasionaron que respiradores artificiales dejaran de funcionar, o que al no haber combustible oportunamente, no hubo vapor para equipos de esterilización.

A nivel nacional, se ha incrementado en 10 % el consumo de energía eléctrica en los hospitales y clínicas particulares, básicamente por la instalación de nuevos equipos médicos tal como respiradores artificiales, plantas de oxígeno, conservadores de vacunas, sistemas de extracción de aire en salas de hospitalización, con lo cual al ser dependientes del estado las grandes unidades de salud, se han visto afectados en la cobertura de tener una energía eléctrica de calidad y sostenida en el tiempo, ya que muchos equipos son susceptibles a deterioro o riesgo de mortandad ante la falta imprevista de energía eléctrica, del mismo modo las instalaciones de la gran parte de centros de salud son antiguos y requieren con urgencia cambios significativos para abastecer de energía con eficacia. En periodos de covid se evidencia que un incremento de demanda desestabiliza la red eléctrica interna.

A nivel local el Hospital La Caleta es un centro de salud dependiente del Ministerio de Salud, ha tenido el año 2020 un reforzamiento en su casa de fuerza e incremento de la potencia contratada con la finalidad de poder tener un abastecimiento de energía

segura, confiable y de calidad, del mismo modo los costos del combustible con el cual se genera vapor saturado a baja presión se han incrementado en 10 % el último trimestre del año 2022, con el cual es urgente implementar tecnologías energéticas eficientes que permitan superar estos graves problemas que no son percibidos en su magnitud aun.

Teniendo en cuenta que se cuenta con altos costos de energía eléctrica para poder cubrir los servicios de hospitalización y atención ambulatoria, iluminación, sistemas de conservación a 3 °C para vacunas y del mismo modo el alto consumo de petróleo Diesel para generar vapor saturado, formulamos el siguiente problema:

¿Cuál es el efecto de la implementación de un sistema de Trigeneración en la cobertura de la energía requerida en el Hospital la Caleta de Chimbote?

## **1.2 Antecedentes:**

Se presentan los siguientes antecedentes:

- Aguilar, R. (2022) en su tesis para optar el título de Ingeniero en Energía en la Universidad Nacional del Santa, concluye que se logró determinar la máxima demanda térmica de agua caliente sanitaria del Hospital E.G.B de Nuevo Chimbote él es de 100 kg/h para un tiempo de 5 horas/día de forma continuada para las áreas de lavandería, esterilización y cocción. Se necesita una demanda variable de vapor saturado a la presión máxima de 2 bar. Para ello se determinó que demanda térmica máxima simultanea varía entre las 11 a 12 horas. Del mismo modo se sugiere un grupo electrógeno de 786 kW que opera con gas natural en la cobertura de la demanda eléctrica la cual es 185 kW, este último equipo de generación representa el sistema de generación de energía continuos de menor capacidad que de forma comercial se puede adquirir en nuestro país. Se puede generar el 100% del agua caliente sanitaria el cual sobre cubrir con los requerimientos de energía térmica del hospital. Esto se consiguió como resultado de una planta de cogeneración calificada de 786 kW.

Arias, E. y Espinoza, L. (2013) en su tesis para optar el título de Ingeniero en Energía en la Universidad Nacional del Santa, concluyeron lo siguiente: Se busca sustituir el clásico sistema de refrigeración por compresión de vapor con compresores de pistón y tornillo por un sistema de refrigeración por absorción, determinándose que el flujo de calor útil de Planta el cual es 57,28 MWh, empleados en Planta de harina,

congelamiento y conservas en la ciudad de Coishco para la Empresa Hayduk S.A. Es necesario implementar una planta de cogeneración de 62 MW el cual deberá ser abastecido con gas natural a través de un gasoducto virtual. Los parámetros para la calificación que se evalúan con la Relación de Cogeneración y el Rendimiento Eléctrico Efectivo obteniéndose valores de 1,047 y 0,556. Se debe realizar una Inversión de 33'470 000,00 U\$, para garantizar la infraestructura mecanica-electrica, lo cual podrá recuperarse inyectando 56,8 MW de Potencia excedente hacia la red externa y con los ahorros obtenidos por el Petróleo y Energía Eléctrica que no son consumidos.

Ascencio, V. y Carlos, L. (2017) en su tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico en la Universidad Nacional de Ingeniería concluyen lo siguiente: se presenta el requerimiento energético en dos centros de salud para cubrir las demandas de electricidad y energía térmica, para ello se plantea la instalación de una central de trigeneracion, evaluándose las diversas alternativas tecnológicas principalmente se presta interés en la cogeneración con motores de combustión interna para producir energía eléctrica para suministro de los hospitales y generar con los calores remanentes del sistema de gases calientes de escape y de refrigeración el agua caliente sanitaria necesaria y el vapor a baja presión para los servicios. La alta eficacia de los sistemas de trigeneracion se basa en el empleo de una única fuente de energía primaria consiguiéndose la disminución de emisiones de CO<sub>2</sub> , SO<sub>2</sub> , y NO<sub>x</sub> causantes del calentamiento global.

Ballestas, S. (2012) en su tesis Trigeneración industrial-cálculos termodinámicos y económicos caso Abocol Cartagena, en la Universidad Nacional de Bolívar de Colombia realiza la propuesta para implementar una planta de trigeneración, con la finalidad de aprovechar el calor remanente que se expulsan por la chimenea la cual se deriva hacia caldero de recuperación para generar vapor para un sistema de refrigeración por absorción con bromuro de litio para generación de agua helada y acondicionamiento del aire, incluye un estudio y dispocison de los componentes del sistema de generación de vapor de 10 MW.

Campos y Novillan (2019) en su tesis para obtener el título de Ingeniero Electricista en el Instituto Politécnico Nacional de México concluye lo siguiente: es viable la propuesta del aprovechamiento del 100 % de la energía entrante el cual permitirá un ahorro significativo en el consumo de petróleo, la propuesta incluye instalar 3 motores a gas cubriendo el 100% de la demanda eléctrica, la demanda de calor y la demanda requerida en un sistema frigorífico con un sistema de absorción con amoniaco hasta alcanzar la temperatura de  $-12^{\circ}\text{C}$  con la finalidad de mantener el agua glicolada a  $-4^{\circ}\text{C}$ , para ello se requiere instalar recuperadores de calor en los sistemas de escape, refrigeración y enfriamiento del sistema de lubricación.

Crispín, R. y Haro, J. (2015) en su tesis Ahorro de energía primaria mediante el diseño de un sistema de Trigeneración en la empresa Austral Group, para optar el título de Ingeniero en Energía, concluyeron que en la Empresa Austral Group presenta óptimas condiciones para instalar una planta de trigeneración que le permita cubrir el total de la demanda eléctrica, térmica y frigorífica. En este caso lo más viable es instalar una planta con turbinas a gas que opere con el ciclo Brayton simple abierto con un sistema de refrigeración por absorción con agua amoniacal, se ha estimado un ahorro potencial de 66.76 % de la energía primaria entrante en el centro de consumo de energía, del mismo modo se da cumplimiento a los artículos 4 y 5 del Reglamento de Cogeneración del Perú N° 037-2006, para ello se cumplen con los valores requeridos de la Relación de Cogeneración y el rendimiento Eléctrico Efectivo, cuando se opera con turbinas a gas, además los excesos de energía generada están facultadas para ser inyectadas a la red externa del sistema eléctrico interconectado, obteniendo ingresos económicos la empresa como generador.

Fernández, T. (2014) en su tesis Planta de cogeneración de un motor alternativo de combustión interna para un hospital, en la Universidad de Cantabria resume: que la central de cogeneración instalada dentro del hospital Santa María de Lugo tiene 2 generadores de vapor para vapor saturado y 3 calderas para producción de ACS para emplea el gasóleo C como combustible. Se propone el montaje de una planta de cogeneración de 636 KW de potencia eléctrica, un caldero HRSG para la generación de vapor y un recuperador de calor vapor-agua para generar el ACS. La generación de energía eléctrica y térmica en las centrales de cogeneración permiten dar un valor

agregado a los gases calientes residuales expulsados del HRSG y del mci que genera acoplado a un generador trifásico la potencia efectiva requerida. Se analizó el grado de reducción del consumo de combustible, el cual representa un uso de la tercera parte de la energía primaria empleada en la generación convencional de vapor con suministro externo de energía eléctrica, del mismo modo la reducción de GEI son significativas.

Guerra, J. (2017) en su tesis empleo de los ciclos de cogeneración con motores de combustión interna para aprovechar el biogás generado, para obtener el título de Ingeniero Mecánico en la Universidad Central Santa María de Abreu en Cuba concluye que con la implementación de una central de cogeneración con un motor de 629 kW, acoplado a un caldero recuperador para aprovechar el calor residual y la temperatura de gases calientes de la combustión de los motores a biogás, se genera agua caliente a 90 °C para los procesos industriales. El ahorro económico por generar electricidad y calor de procesos de forma simultánea permite un ahorro energético del 10%.

Gutiérrez, J. (2015) en su tesis Viabilidad de un sistema de Trigeneración aplicado a una fábrica de colchas, para obtener el título de Ingeniero Mecánico en la UNAM de México presenta una propuesta de implementación para una planta de cogeneración y un sistema de climatización con bromuro de litio. El sistema de cogeneración aportará la energía térmica para la operación del generador del sistema de acondicionamiento del aire por absorción, generándose el 22% de la demanda de frío, pero en los sistemas con absorción se requiere de componentes extra como son las torres de enfriamiento y los tanques de agua con aislamiento térmico, lo cual elevan la inversión inicial desde U\$ 822 155,00 hasta \$984450.

Guzmán, A. (2003), Sistema de trigeneración aplicado a un supermercado, tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico de la Universidad Técnica de Santa Marta concluye: En este informe se han estudiado las alternativas energéticas de trigeneración de energía y el suministro convencional con gas natural para la cobertura de la demanda energética de un Supermercado en la comuna de Quillota. Se han hecho uso de herramientas técnicas y económicas para realizar la evaluación de la rentabilidad del sistema de trigeneración, se han analizado las configuraciones de suministro para cada una de ellas. Estos esquemas han sido analizados teniendo en cuenta la información

estadística del consumo eléctrico y combustibles, según el Catálogo de Portadores. Porque existe la posibilidad de acoplar un vaso aislado a la máquina productora de agua fría para aclimatar, la relación entre el flujo producido y el volumen del vaso se modela matemáticamente a través del polinomio de Lagrange, limitando el coste del grupo. Para cada una de las alternativas de trigeneración se realizó un balance de energía en el alternador, pudiendo seleccionarse el valor de potencia de absorción de fuego indirecto de la máquina, en función a la potencia térmica que se recupera.

Heredia, W. (2020) en su tesis Efecto de la implementación de un proceso de Trigeneración sobre el consumo de energía primaria en un hospital, concluye lo siguiente: la propuesta de una central de Trigeneración presenta un Rendimiento Eléctrico Efectivo de 0,67 y una relación de cogeneración de 0,88, los cuales son superiores a los valores normados en el Reglamento de Cogeneración por lo cual puede ser considerada como “central de cogeneración calificada” quedando facultada a inyectar sus excedentes de energía eléctrica al SEIN. Respecto al ahorro de energía primaria, se obtiene un PES de 16,32 %, que representa un valor alto teniéndose en cuenta la normatividad europea, para lo cual un PES mayor al 10% es considerada como una planta de cogeneración con alto rendimiento.

José, J. (2016) en su tesis modelación de un sistema de refrigeración por absorción a bajas temperaturas para generación de hielo, para obtener el título de Maestro en Ingeniería Mecánica del Instituto Politécnico Nacional de México concluye lo siguiente: el sistema de refrigeración de absorción para temperaturas de  $-5^{\circ}\text{C}$  aprovecha la radiación térmica solar con el cual se puede alcanzar una temperatura de  $70-90^{\circ}\text{C}$  en el generador de la máquina de absorción con el cual es factible la producción de 10 toneladas de refrigeración para producir hielo en una cámara frigorífica.

Morales, J. (2013) en su investigación la cogeneración en el sector industrial en México: obstáculos y perspectivas, concluye que la micro cogeneración de energía en México incluye unidades de generación desde 15 kW a 2 MW, los cuales son ideales para ser empleados en el sector terciario tal como hospitales, piscinas atemperadas o supermercados. Estas tecnologías eficientes están conformadas por grupos

electrógenos de baja capacidad o microturbinas a gas que operan con petróleo DB5, o gas natural o turbogeneradores que pueden quemar diesel, gas natural, GLP o biogás y generan energía eléctrica y agua caliente sanitaria o climatización de ambientes que se encuentran con altas temperaturas.

### **1.3 Justificación:**

La justificación es la siguiente:

La Trigeneración como tecnología eficiente que realiza la producción simultanea de electricidad y energía calorífica para los procesos y un remanente de energía que es utilizada en una máquina de absorción para genera condiciones de 5 °C (para nuestro caso)en sus aplicaciones en el sector terciario o de servicio (servicio de salud) son muy relevantes, siendo la principal la posibilidad de autogenerar su propia energía, segura, fiable y de calidad e independizarse de la red exterior de energía eléctrica. Sobre todo, cuando el requerimiento de la demanda de calor y electricidad es permanente los 12 meses del año lo cual lo hace viable económicamente:

Se presentan los beneficios que se pueden alcanzar:

Disminución del consumo de energía primaria (combustible derivado de hidrocarburos)

Reducción de la facturación por consumo de energía y combustibles.

Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en cumplimiento a los compromisos del Perú en el Acuerdo de Paris.

Permitirá ingresos económicos al Hospital, con la posibilidad de implementar una potencia de Trigeneración calificada.

### **1.4 Hipótesis:**

Se enuncia la hipótesis:

El efecto de la implementación de un sistema de Trigeneración de energía permitirá cubrir el 100% de la demanda energética en el Hospital la Caleta de Chimbote.

### **1.5 Objetivos:**

#### **Objetivo general**

Analizar el efecto de la implementación de un sistema de Trigeneración de energía en la cobertura de la energía en el Hospital la Caleta de Chimbote.

**Objetivos específicos:**

- Realizar un balance energético en la en el Hospital la Caleta de Chimbote para cuantificar el valor de la potencia térmica útil y requerimiento de conservación.
- Dimensionar la planta de Trigeneración para la cobertura de la demanda térmica, eléctrica y de climatización del Hospital La Caleta.
- Determinar los beneficios de la cobertura total por la implementación de un sistema de Trigeneración de energía en el Hospital la Caleta de Chimbote.

**2. Marco Teórico.****2.1 Cogeneración.****2.1.1 Generalidades:**

La cogeneración es una tecnología eficiente que permite generar de forma conjunta calor útil para procesos y energía eléctrica a partir de una única fuente de energía primaria entrante. Los combustibles empleados pueden ser convencionales (gas licuado de petróleo, gas natural, combustóleo), renovable (residuos agrícolas y forestales, biogás, etc.) o incluso existen sistemas de cogeneración con hidrógeno. El principio fundamental de la cogeneración es recuperar el calor residual luego de la combustión en una central termoeléctrica, los gases se hubieran expulsado directamente a la atmosfera originando contaminación al medio ambiente. (Chunga y Cam, 2013)

Del mismo modo la cogeneración se refiere a la generación secuencial de calor de procesos y energía eléctrica, a través de un conjunto de disposición de los equipos de tal manera que se genere energía útil como valor agregado de los flujos de calor residual provenientes de los procesos de combustión. Se presenta como una alternativa tecnológica para el ahorro de combustible, reducción de costos y reducción de gases de efecto invernadero que se presentan con el suministro convencional de energía. (Godos, 2011)

En los diversos arreglos de cogeneración la energía es consumida y generada en niveles teniendo para ello una sola fuente de energía entrante en un primer nivel de energía. La cogeneración implica recuperar la energía remanente generado por el consumo de una fuente primaria única entrante y dar un valor agregado por genera una nueva energía útil. Emplea conceptos de alta eficiencia recuperación de flujos de calor remanente. (Chunga y Cam, 2013)

La cogeneración de energía presenta un alto grado de aplicabilidad, empleándose en empresas industriales o empresas de servicio o del sector terciario. Del sector terciario tenemos los hoteles, lavanderías y centros hospitalarios. En los centros de salud existe un intenso requerimiento de energía eléctrica, para lo cual existe prioridad para generar primero la energía eléctrica; por ello es necesario identificar la tecnología de generación más apropiada, la cual puede realizarse a través de grupos electrógenos o con turbinas de gas o de vapor de alta eficiencia, luego de ello teniendo en cuenta los requerimientos de energía térmica según las horas y

volumen de uso se diseñan diversas configuraciones para la generación de calor útil. Un análisis del empleo de la cogeneración en centros de salud de Europa ha revelado que se pueden alcanzar ahorros entre 30 o 50% en sus gastos mensuales comparando los precios entre el suministro convencional de energía y la cogeneración, teniéndose una ratio de en un centro de salud de 300 camas, pueden reducir su presupuesto anual en 40 000 dólares. (Tes Power, 2020)

Los hospitales presentan requerimientos de energía debido a sus perfiles de carga en las horas del día y los meses del año, se cuenta con un consumo medio de energía eléctrica entre 250 kWh/m<sup>2</sup> - 450 kWh/m<sup>2</sup> anuales. (Tes Power,2020)

En el Perú el Reglamento de cogeneración norma para que una planta consumidora de energía obtenga la denominación de cogeneración calificada encontrándose autorizada para inyectar sus excedentes de energía eléctrica al SEIN en el caso peruano. (Sandoval, 2021)

### **2.1.2 Importancia:**

Disminución de las reservas de combustibles: Aplicando la cogeneración en los casos de cobertura al 100% de la demanda eléctrica y térmica, se cuenta con una sola fuente de energía primaria. De conforma convencional se tiene el ingreso de una sola fuente de energía, por lo general es combustible, puede ser gas natural o biomasa (empresas azucareras) las cuales se emplean a través de la combustión generar un fluido intermedio para la producción de energía eléctrica en un primer escalón, con los calores remanentes se pueden generar el flujo de calor útil , reemplazándose a los calderos convencionales por recuperadores de calor para generar ACS, vapor saturado o un fluido caliente de proceso. Con lo cual se contribuye a conservar las reservas de combustibles fósiles. (Rojas, 2021)

Seguridad de suministro: la generación in situ garantiza que la energía se encuentra disponible en el lugar mismo de la generación, y se supone que el generador procurara cumplir con todas normas técnicas que garanticen la energía y potencia de calidad y segura. (Yábar, 2016)

Incrementa la competitividad: uno de los parámetros de mayor importancia en las plantas consumidoras de energía son los bajos costos de producción o servicio sin descuidar el nivel de producción o la calidad del servicio. La implementación de tecnologías eficientes de generación trae consigo la disminución de los costos asociados a la compra de energía y en algunos existirán ingresos por venta del excedente de energía a la red externa, con lo cual los indicadores de producción o servicio se optimizan, incrementándose el margen de ingreso de la empresa o entidad. Por lo general la generación in situ se complementa con la implementación de técnicas de uso racional y ahorro energético. Todo esto se genera una mejor imagen institucional de la empresa ante sus competidores y en el mercado donde se desarrolla. (Yábar, 2016)

Las pérdidas por transmisión eléctrica que convencionalmente son entre 7-9% se reducen su totalidad debido a que solo se limitara a la distribución eléctrica interna que depender de la tecnología de las instalaciones. (Rojas, 2021)

### **2.1.3 Factores que inciden en la cogeneración:**

Se debe tener en cuenta lo siguiente:

La disponibilidad y los costos de los combustibles juegan un papel muy importante en la selección de la tecnología de cogeneración a utilizarse. La Empresa Quavii S.A.C tiene a cargo la distribución de gas natural para la ciudad de Chimbote, con distintas categorías tarifarias según el volumen de consumo con un precio promedio de 4,8 U\$/MMBTU, el cual resulta ser más económico que el Petróleo BD5 el cual está a un precio de 16,0 S/ Galón. Las redes de gas natural permiten un abastecimiento continuo e interrumpido. El gas natural es un combustible a ser abastecido en forma continua a través de una red o mediante cisternas, del mismo modo su efecto al medio ambiente es menor con respecto al petróleo DB5 o residual 500. Además, tiene un alto grado de adaptabilidad en turbinas a gas y grupos electrógenos y sistemas automotrices.

En ciertos procesos se requiere una variación sustancial del consumo de vapor por cual los equipos relacionados a la generación de vapor deben tener la capacidad de modular ante un cambio intempestivo de demanda de calor, más aún si el sistema

eléctrico va estar acoplado al sistema de generación de calor , para esto los mci son más versátiles para modular en su operación, presentan una rápida rampa de arranque y tiene un flujo remanente de calor que puede ser aprovechado de sus sistemas de enfriamiento, escape y lubricación para la generación de vapor saturado y ACS. (Godos, 2011)

Las centrales de cogeneración deben estar instaladas cerca al punto de consumo. Los factores que le pueden afectar son la altitud y la temperatura del medio ambiente. El factor ruido es una externalidad provocada por la central de cogeneración sobre las poblaciones que la circundan. Los grupos electrógenos se comercializan en su presentación encapsulados, con lo cual generan un máximo de 80 dB. (Godos, 2011)

Según la tecnología utilizada, el costo del CAPEX varia significativamente. Pero, por lo general los parámetros y ritmo del proceso serán las que permitan definir la tecnología a emplearse y en función a ello se definirá la inversión requerida, en este caso se debe tener en cuenta que se tendrá al gas natural como combustible. (Godos, 2011)

Las empresas de servicio tal como los hospitales presentan variados requerimientos de vapor y energía eléctrica en función de sus procesos y los periodos de demanda diaria. La Relación Calor y Electricidad para un hospital o centro de salud varia significativamente en función a la cantidad de pacientes y tipos de citas o atención que realiza. El consumo de electricidad es continuo durante todo el periodo de servicio que se brinda, mientras que el requerimiento de energía térmica es intermitente. (Fernández, 2014)

#### **2.1.4 Tecnologías de cogeneración con motores de combustión interna:**

##### **a. Fundamentos.**

El mci impulsa mecánicamente al generador. En muchos casos los mci también permiten el accionamiento de una máquina o un compresor o bomba (por ejemplo, para la impulsión de agua). En los mci se genera una alta proporción de calor residual producto de la temperatura a la cual se ve sometido el motor debido a la combustión. La energía calorífica

perdida por la chimenea con los gases de la combustión puede alcanzar hasta los 35% o más según el caso y según la temperatura de salida de los gases. Se recomienda instalar un recuperador de calor en el ducto de chimenea para que a través del aprovechamiento del calor sensible se produzca agua caliente o vapor saturado. En un segundo grado de aprovechar la temperatura del agua del sistema de refrigeración oscilando entre 140 a 12 °C, la cual debe ser enfriado por lo menos a 80°C antes de retornar nuevamente al motor. La instalación de un calentador de agua es por lo general a instalarse. (Gailfuß, 2021)

En el caso del recuperador de calor del sistema de enfriamiento o refrigeración del motor por lo general es un intercambiador de calor agua-agua. Se dispone siempre su instalación antes del recuperador de los gases de la combustión. Para mci de gran tamaño y capacidad más de 100 HP, el aceite lubricante empleado deberá tener condiciones de uso dentro del rango de viscosidad. Por lo cual se instala un primer precalentador de recuperación del calor sensible del aceite lubricante, con la finalidad de mantenerlo entre 40-60 °C. Este último recuperador es del tipo agua-aceite lubricante. La instalación de los recuperadores de calor se realiza siempre en cascada para un óptimo uso del flujo de calor sensible perdido. (Gailfuß, 2021)

La tecnología de cogeneración con motores de combustión interna se caracterizan por la generación de energía a través de grupos electrógenos, donde se recupera el flujo de calor sensible de los gases de la combustión, agua caliente del sistema de refrigeración y en ciertos casos el calor del aceite de lubricación para producir vapor saturada hasta 2 bar o agua caliente sanitaria. Estos sistemas de cogeneración se acoplan a empresas que tienen una relación Energía eléctrica/Energía térmica elevada por lo cual es primordial la generación de energía eléctrica en un primer escalonamiento denominándose centrales de cogeneración de cabeza o Topping cycles. Luego en un segundo nivel se recupera los flujos de calor remanentes. Estas configuraciones son ideales para ser instaladas en centros de salud u hospitales, hoteles. Para su diseño se debe tener en cuenta los perfiles de carga eléctrica y térmica para ubicar el punto de coincidencia de diseño. (Aguilar, 2022)

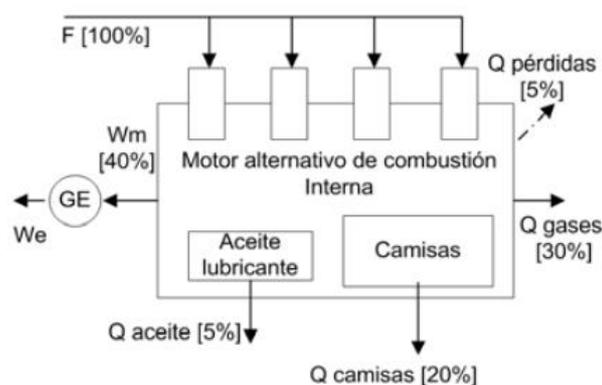
La cogeneración con grupos electrógenos está limitada por el rango de potencias de los mci, trabándose entre rangos de 100 kW hasta 20 MW, para rangos mucho menores el flujo de calor remanente recuperado es muy pequeño comparado con la inversión para instalar al recuperador de calor. Su empleo es exclusivo para hospitales, hoteles, invernaderos, aeropuertos entre otros. Dentro de las ventajas es

su bajo valor del CAPEX y el OPEX de operación y mantenimiento en comparación a turbinas a gas y de vapor. (Gailfuß, 2021)

En un sistema con un rendimiento medio de 30% (33 % con motores encendidos por compresión y 27 % con encendido por explosión) sin sobrealimentación y 50 % con sobrealimentación, además de producir energía eléctrica, se recupera el flujo de calor del circuito de refrigeración del motor y de los gases de escape alcanzando un rendimiento global hasta 80%. (Gailfuß, 2021)

Figura 1

*Distribución típica de flujos de energía en un MCI experimental*



Nota. Imagen obtenida de Rubio & otros (2010)

## b. Tipos de grupos electrógenos.

**Definición:** Un grupo electrógeno es una maquina generadora de potencia conformada por un motor de combustión interna acoplada directamente a un generador eléctrico, en la cual se aprovecha la reacción de combustión de un combustible para que a través de un conjunto de transformaciones se genera potencia efectiva. Es empleado como unidad de suministro de energía en casos de existir déficit de energía por falla en la red (operando como unidad de emergencia) o por ser en un sistema aislado, en este último caso opera como unidad base de generación. Los grupos electrógenos operan con combustibles líquidos o gaseosos y se pueden conseguir comercialmente capacidades desde 1 kW hasta 25 MW. (Bocanegra y Zubiate, 2018)

**Grupo electrógeno de potencia Stand by:** También conocida como potencia fuel stop power FTP o stand by power, esta referida a la potencia que desarrolla de modo continuada para un determinado número de horas, pudiendo ser de 500 horas para operación variable o 200 horas a operación constante. Esta máquina no permite operaciones en sobrecarga. Presenta un factor de carga de 70%. Su operación esta normada según la ISO 3046/1, AS2789, DIN 6271 y BS5514. Se emplean para situaciones de emergencia debido a cortes programados o intempestivos de energía, en algunos casos las empresas distribuidoras exigen sus características de operación. Son maquinas más livianas y de menor precio debido a sus materiales. (Sandoval, 2021)

**Grupo electrógeno con potencia prime:** Este grupo electrógeno es de mayor costo y más robusto, con lo cual se adecua a una operación constante o mayor número de horas de uso a carga variable en comparación al modelo stand by. Pueden operar para peak shaving o rasurado de picos de demanda operando a carga variable o constante, para abatir la máxima demanda en horas punta, y puede opera en paralelo a la red externa como máquina de punta a carga variable o de base operando a carga constante. Admite sobrecargas de 10% por un límite determinado de horas generalmente una hora por odia. Por lo general tiene un novedoso sistema de gestión de la demanda que le permite modular su operación durante el día. Su operación se norma según la ISO8528 y Potencia de Sobre-Carga de acuerdo con las Normas ISO3046, AS2789, DIN6271 y BS5514). (Sandoval, 2021)

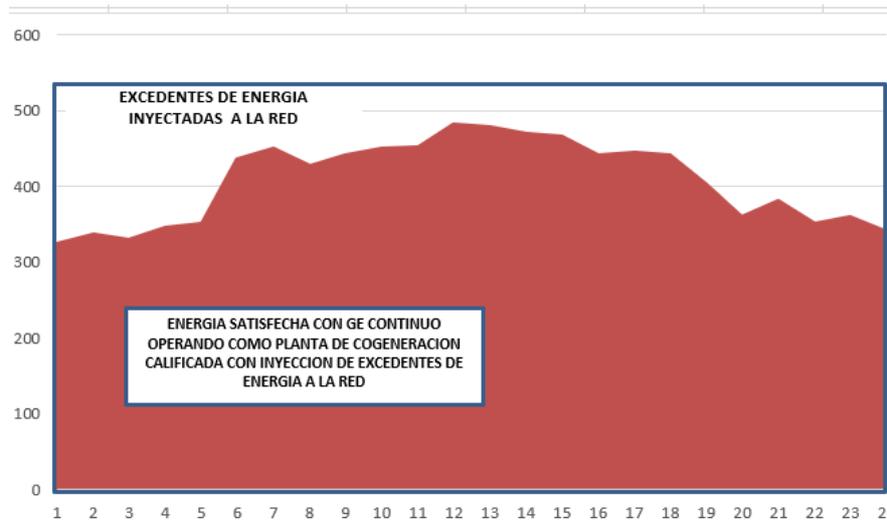
Los grupos electrógenos de este tipo de potencia se emplean para reducir los costos de facturación durante las horas punta, aplicar la técnica de “peak valley” o rasurado de picos de demanda o para actuar como unidad base de respaldo al suministro de energía eléctrica adquirida de la red externa. (Sandoval, 2021)

**Grupos electrógenos con potencia continua:** Potencia a desarrollar para cargas no variables del 100%, su uso es sin restricciones de tiempo. No admite sobrecarga. Factor de uso de 100%. Potencia LTP de acuerdo con normas ISO8528, ISO 3046/1, AS2789, DIN 6271 y BS5514. Se emplean como unidades de base operando en

forma continua, se usa para generación in-situ para el suministro de energía constante o variable, operando en paralelo a la red, o en modo isla cuando no se cuenta con conexión a red externa o como tecnología de cogeneración para aplicarlo en hospitales, supermercados, hoteles. (Sandoval, 2021)

Figura 2

*Diagrama de carga de cogeneración calificada*



*Nota.* Imagen obtenida módulo de PCE, Guevara (2021)

c. Performance de la generación con grupos electrógenos.

Según la tesis de Mendoza (2017) se definen las siguientes ecuaciones para el cálculo del performance de un grupo electrógeno.

Potencia térmica suministrada: Se refiere a la potencia térmica que se suministra al motor durante la reacción de combustión del combustible en los cilindros, su ecuación es la siguiente:

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

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

PCI = Poder calorífico inferior del combustible

Potencia efectiva del alternador eléctrico: Se refiere a la potencia eléctrica producida al alternador, su ecuación siguiente:

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

Dónde:

v = Tensión (voltios)

i = Intensidad (amperios).

cosθ = Factor de Potencia del alternador (entre 0.85 a 0.9, según cada fabricante)

La eficiencia del grupo electrógeno, se determina con la siguiente ecuación:

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

## 2.2 Refrigeración por absorción.

### 2.2.1 Fundamento.

La refrigeración consiste en la extracción del calor contenido dentro de un ambiente, cuerpo o sistema que se caracteriza por tener su temperatura inferior a la temperatura ambiental. En este caso el refrigerante que es un fluido con bajo punto de ebullición extrae el calor y somete al sistema a una temperatura predeterminada baja. La temperatura final obtenida puede ser a temperaturas superiores a 0°C o inferior a ellas. Puede ser enfriamiento, conservación o congelamiento. Según ello se adecuan los tipos de refrigerantes existentes,

Se basan en dos leyes de la termodinámica que son:

La primera ley o principio de conservación de la energía, establece que la energía no se crea ni se destruye solo se transforma.

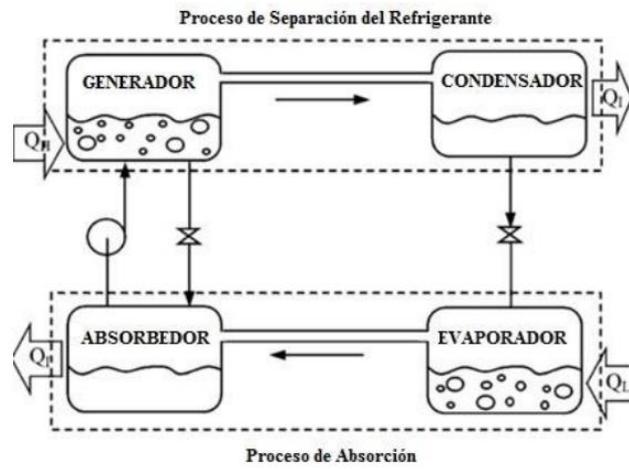
La 2° ley de la termodinámica manifiesta que todo proceso ocurre en una sola dirección, por lo cual el calor se transmite del cuerpo de alta temperatura al de menos temperatura, y es imposible la ocurrencia de un proceso inverso, la transferencia de calor es mucho mayor cuando existe un mayor gradiente de temperaturas. (Teopanta, 2018)

El principio de absorción se enuncio por Faraday. Tiene por finalidad licuar gases que se creían que tienen presentación de vapor casi permanente, por ejemplo, el amoniaco. Faraday descubrió que el cloruro de plata tiene la característica de la absorción de enormes cantidades de vapor de amoniaco. (Teopanta, 2018)

El proceso de absorción se fundamenta en la afinidad entre 2 sustancias que se mezclan en estados diferentes una de otra. Los ciclos de absorción comerciales son de agua con bromuro de litio o cloruro de litio y el de agua con amoniaco, en este último se genera una solución acuosa llamada agua amoniacal. (Teopanta, 2018)

Figura 3

*Esquema básico de un sistema de refrigeración por absorción*



*Nota.* Imagen obtenida de Teopanta (2018)

El vapor refrigerante ingresa al absorbedor, en este caso, la solución acuosa se diluye por el mayor contenido de vapor refrigerante que se ha absorbido. Esto se denomina como el "proceso de absorción" considerándose un proceso exotérmico, el cual debe rechazar calor hacia el ambiente para poder mantener su capacidad de absorción. La solución que sale del absorbedor presenta una alta concentración del refrigerante, la cual es impulsada hacia el generador a la presión de alta del sistema de absorción. La solución acuosa con un alto porcentaje de concentración ingresa al generador a presión alta y a baja temperatura agregándosele calor, esto provoca la elevación de la temperatura de la solución y de aquí en adelante el flujo masico del refrigerante en el absorbente es aminorada. (Teopanta, 2018)

Luego el refrigerante en estado de vapor sobrecalentado es conducido fuera del generador. Posteriormente ocurre la disolución del refrigerante de las trazas de agua que pueda contener, esto ocurre en un tanque separador de placas o purificador donde se garantiza

que el refrigerante tiene un 100% de pureza para poder circular en el condensador, válvula de expansión y evaporador sin el peligro de que burbujas de agua se congelen en las tuberías del evaporador. El refrigerante al pasar por el condensador cambia de estado de vapor sobrecalentado a líquido saturado produciéndose el calor de rechazo, esto ocurre dentro de un condensador atmosférico. Posteriormente el refrigerante se expande y en estado vapor húmedo ingresa al evaporador hasta salir como vapor saturado generándose el efecto refrigerante. (José, 2016)

Por otro lado, del proceso la solución acuosa pobre retorna al absorbedor fluyendo por medio de la válvula de expansión provocándose una caída de presión en la solución para mantener la diferencia de presiones entre el generador y el absorbedor. Dentro del absorbedor el fluido absorbente se mezcla con el fluido refrigerante generándose una solución acuosa de alta concentración, en este proceso es necesario mantener condiciones de presión y temperatura, mediante un proceso endotérmico o de extracción de calor al medio externo. (José, 2016)

El rendimiento, evaluado por el COP es menor con respecto al ciclo de refrigeración por compresión de vapor (entre 0,8 y 1,0 frente a 3,2 y 5,8). El COP que se obtiene con el sistema convencional de refrigeración depende de la potencia eléctrica consumida por el compresor, el cual es el equipo consumidor que genera el mayor gasto en el ciclo de refrigeración por compresión. A diferencia del sistema de absorción la energía empleada para calcular el COP es el flujo de calor aportante al generador, la cual debe ser un calor de recuperación u obtenido por sistemas fototérmicos para resultar económico. Además, la potencia eléctrica consumida es mucho menor, debido a que la bomba de solución acuosa tiene una potencia menos del 10% de la potencia de un compresor alternativo o de tornillo para una planta de refrigeración de una determinada capacidad frigorífica. No es fiable realizar la comparación del COP de compresión con el de absorción. (Padros, 2018)

Un ejemplo típico está referido a una instalación de refrigeración (para climatización en verano) solar: si se emplean celdas fotovoltaicas, solo se puede obtener solo un 25-22% de electricidad comparable a los concentradores solares térmicos con los cuales se puede aprovechar en algunos casos el 90% de la energía solar irradiada, y a un costo de la instalación menor. El sistema de paneles solares-absorción alcanzan un COP en un rango

de 0,72 y 1,08 y el de compresión en 0,54 (18% paneles y COP de 3, por lo general) y 1,1 (20% paneles SFV y COP de 5,5) (Padros, 2018)

El tema energético referido a la potencia suministrada para la compresión o al sistema de absorción juegan un papel preponderante si se desea comparar ambos sistemas. Para el sistema de compresión, el compresor es impulsado por un motor eléctrico, contándose eficiencias de 90% para el motor eléctrico y 80% para un compresor convencional de alta tecnología con lo cual se alcanza un rendimiento del 78%, lo cual influye significativamente en el COP del ciclo de refrigeración por compresión de vapor. Por otro lado, en el sistema de absorción el motor eléctrico tiene un rendimiento de 90% y la bomba de solución acuosa tiene un rendimiento del 80%, alcanzando un rendimiento total de 76,5%. Con lo cual se demuestra que al margen del volumen o capacidad, el sistema eléctrica del sistema de absorción es más eficiente. (Padros, 2018)

Al flujo de calor aportado para el proceso de refrigeración se le agrega el flujo de calor sustraído de la zona a la cual se ha extraído el calor. El calor residual se encuentra a una temperatura mucho menor (a pesar de que la cantidad de calor sea mucho mayor), con lo cual su uso es casi impracticable. Los generadores del sistema de absorción son de gran volumen y estáticos. En muchos casos los sistemas de refrigeración por absorción son equipos compactos en donde todos sus componentes están confinados. (Padros,2018)

Las ventajas de los sistemas de absorción respecto al sistema por compresión son:

- Necesitan una menor potencia de consumo.
- Por lo general es económico cuando emplean flujos de calor remanente de procesos industriales o energía solar.
- Presentan la posibilidad de emplear quemadores de gas.
- No generan gases contaminantes que deterioran la capa de ozono, debido a que no deterioran el medio ambiente al no generar CFCs ni HFCs y su efecto al calentamiento global es menor.
- No presenta partes móviles que retardan su vida útil, del mismo modo presenta menor tiempo y costos de mantenimiento.
- No producen ruido y no vibran.

- Su funcionamiento es más flexible y confiable que el ciclo de refrigeración por compresión. (Stieu, 2010)

Los equipos de absorción son ideales para operar cuando se cuenta con energía térmica residual proveniente de un proceso de recuperación tal como lo es con la cogeneración o también si el calor adicionado al generador es proveniente de un sistema de calentamiento con energía solar, para evitar los altos costos que se tendrían en el supuesto caso de que el flujo de calor útil proviene de vapor generado directamente desde un caldero que previamente a consumido algún tipo de combustible. El uso de vapor generado en un sistema de recuperación de calor por ejemplo con el aprovechamiento de los gases de la combustión de un mci es ideal y económico su empleo. Uno de los retrasos del uso de los sistemas de refrigeración por absorción fue el alto costo de operación asociado en la generación de calor gastando un combustible tradicional, esto ha sido desplazado con la combinación de los sistemas de refrigeración por absorción con la cogeneración. (Stieu, 2010)

### **2.2.2 Funcionamiento.**

La principal característica de los sistemas de refrigeración por absorción es que la energía requerida para su funcionamiento es proveniente de una fuente de calor, como se mencionó anteriormente, su importancia radica cuando se dispone de fuentes energéticas renovables tal como la geotérmica, solar o calor remanente de procesos industriales. El sistema en principio es similar al sistema de refrigeración por compresión, con la única diferencia que el compresor del sistema de refrigeración por compresión que impulsa al refrigerante es reemplazada en su totalidad por una máquina de absorción compuesta por un absorbedor, una bomba de solución acuosa de baja potencia, un generador y una válvula de expansión, más un conjunto de sistemas auxiliares que garantizan su operatividad. En los sistemas de refrigeración por absorción el compresor de vapor es reemplazado por un mecanismo complejo, integrado en su versión más sencilla, por un absorbedor, una bomba y un generador. El sistema de refrigeración convencional caracterizado por un consumo eléctrico que es la tercera parte o más del efecto refrigerante es reemplazado por un conjunto de componentes predominantemente térmicos, con bajo consumo de energía eléctrica. (Gómez, 2018)

Existe una variedad de múltiples modelos comerciales que emplean la tecnología de enfriamiento por absorción, modelos de alto desempeño comercialmente disponibles para venta y en diversas capacidades para diversas prestaciones de trabajo. Dentro de las principales empresas que fabrican equipos tenemos: Carrier Corporation (EE.UU), York (EE.UU), Thermax (India), LG (Corea), Solar Next (Alemania), Yazaki (Japón), Robur (Italia). (Gómez, 2018)

Existen 2 tipos de sistemas de refrigeración por absorción:

Con BrLi como absorbedor y H<sub>2</sub>O como refrigerante, operando con temperaturas superiores a 0°C, aplicado a sistemas de obtención de agua fría para procesos, agua fría para climatización, conservación de productos hidrobiológicos y procesos industriales.

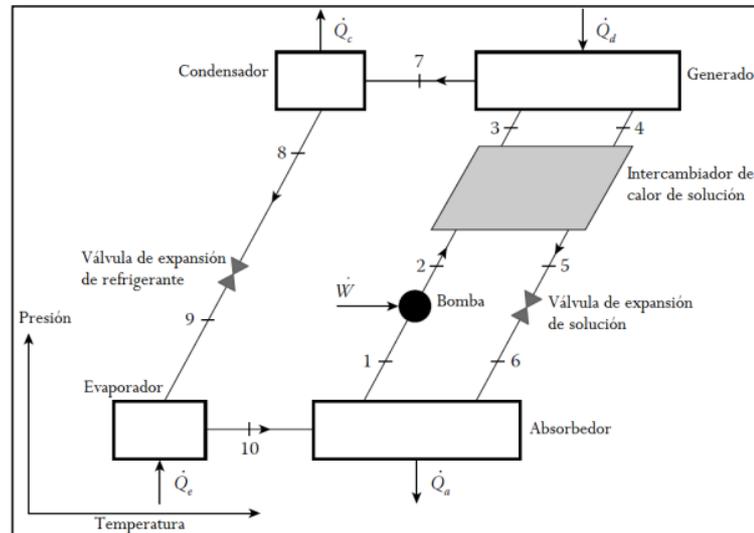
Con NH<sub>3</sub> como refrigerante y H<sub>2</sub>O como absorbedor, operando con temperaturas inferiores a 0°C, aplicado a sistemas de producción de hielo, cámaras de conservación, túneles de congelamiento, entre otros. (José, 2016)

Un sistema de refrigeración por absorción convencional tiene 4 componentes esenciales y son los siguientes:

- a. Absorbedor: En este equipo se produce la absorción del fluido absorbente al refrigerante a determinadas condiciones de presión y temperatura, obteniéndose una solución acuosa de agua con bromuro de litio o solución acuosa de agua amoniacal. Este proceso se realiza con extracción de calor o en un proceso endotérmico, liberándose el calor al exterior.
- b. Bombas de solución: Es una bomba de desplazamiento positivo, cuya finalidad es impulsar la solución acuosa desde la presión en el absorbente hacia la presión del generador. (Gómez, 2018)
- c. Generador: En este equipo la solución acuosa se diluye en absorbente y refrigerante, debido a la adición de calor indirecto mediante un proceso exotérmico. Para el caso de la solución acuosa de agua amoniacal, se obtiene agua y amoníaco con trazas de agua que son retiradas en un proceso de separación posterior.
- d. Condensador: En este equipo térmico el refrigerante cede su calor al agua y/o aire en un condensador atmosférico pasando del estado de vapor sobrecalentado o líquido saturado. (Gómez, 2018)

Figura 4

Flujos en sistema de refrigeración por absorción de simple efecto.



Nota. Imagen obtenida de Gómez (2018)

- e. Evaporador: Es un equipo térmico formado un serpentín con superficies aleteadas de acero o aluminio, en este equipo el refrigerante extrae el calor del medio a enfriar originándose el efecto refrigerante.
- f. Válvulas de expansión: Este equipo mecánico genera la disminución de la presión del refrigerante desde su presión dentro del condensador a la presión del evaporador. No consume energía eléctrica. (Gómez, 2018)

### 2.2.3 Sistemas de refrigeración por absorción con bromuro de litio.

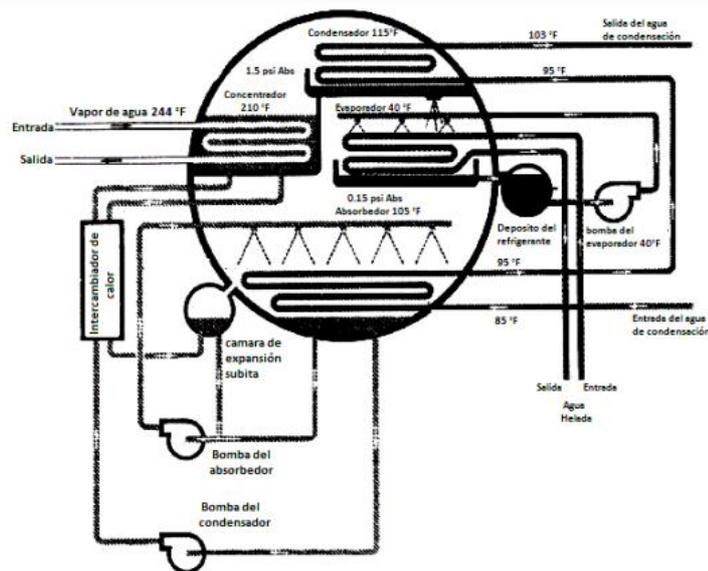
La aplicación del sistema de bromuro de litio y agua esta limitado a temperaturas relativamente elevadas, debido a que la restricción es que el agua como refrigerante se congela a  $0^{\circ}\text{C}$ . Sus aplicaciones van desde sistemas de generación de agua helada, conservadores de alimentos y bebidas, así como en sistemas de climatización o aire acondicionado. (Aguilar, Quintanilla, Ruiz y Tinetti, 2012)

La solución acuosa de bromuro de litio y agua poseen características de operación que sin un adecuado control puedan colapsar al sistema de absorción. Si se llega a enfriar una solución fuerte a una temperatura elevada, del líquido se precipitarán cristales sólidos, lo

cual puede producir obstrucción en las tuberías. La cristalización genera que la mezcla tenga una consistencia semejante a la del lodo. Los cristales pueden ocasionar que la bomba de solución no pueda impulsarla, deteniéndose el proceso. (Aguilar, Quintanilla, Ruiz y Tinetti, 2012)

Figura 5

*Distribución de equipos en sistema de refrigeración con BrLi.*



*Nota.* Imagen tomada de Aguilar, Quintanilla, Ruiz y Tinetti (2012)

El ciclo de refrigeración por absorción con bromuro de litio opera en rangos altos de temperatura, se caracterizan por ser compactos, con lo cual todos sus componentes se encuentran alojados en un solo ambiente para sistemas de baja capacidad a diferencia de los sistemas de gran capacidad pueden sus componentes distribuidos. Estas máquinas se emplean en los chillers para enfriar agua para los sistemas de climatización, en otros casos se emplean en procesos industriales en las que se requiere agua a una temperatura entre 5 a 10°C generalmente en la industria láctea y alimentaria, sus capacidades están en el rango de 100 a 1 500 toneladas de refrigeración. La disposición física del sistema incluye a los cuatro equipos en general aprovechando los flujos de calor entre ellos para optimizar el consumo de energía. (Aguilar, Quintanilla, Ruiz y Tinetti, 2012)

Las máquinas de refrigeración por absorción de agua con bromuro de litio (en algunos casos cloruro de litio) se clasifican según las fuentes de calor en el generador como

métodos de accionamiento, pudiendo ser el método de la evacuación del calor a un nivel medio de temperatura y si el ciclo de absorción es simple o multietapico. El coeficiente de operación oscila está en el rango de 0.7 y 1.5 según el arreglo de sus componentes:

Ciclo de simple efecto con un COP = 0.7 (Temperatura superior a 85 °C).

Ciclo de doble efecto con un COP = 1 – 1.2 (Temperatura superior a 150 °C).

Ciclo de triple efecto con un COP = 1.5 (Temperatura superior a 200 °C) (Stieiu, 2010)

El agua con bromuro de litio representa una mezcla de amplio uso en la mayor parte de los sistemas de refrigeración por absorción empleados en la climatización o aire acondicionado. La temperatura de operación en el evaporador puede alcanzar los 6 °C, con la finalidad de no estar cercana al punto de fusión del agua, en lo supuesto de alcanzar los 0°C el agua se congelaría y no podría cumplir la condición de refrigerante congelándose dentro de las tuberías. Por ello los sistemas de control de temperatura cumplen un rol importante en la preservación del sistema. Dichas restricciones de operación limitaciones en la temperatura establecen que el gradiente térmico entre el evaporador y el absorbedor sea 30°C a lo mucho. Esto obliga a emplear torres de refrigeración de tiro forzado o inducido para la extracción del calor desde el absorbedor, o de otra manera el empleo de procesos novedosos para garantizar la operacion del proceso de absorción. (Stieiu, 2010)

#### **2.2.4 Sistemas de refrigeración por absorción con amoniaco.**

El sistema de refrigeración por absorción con amoníaco como refrigerante y el agua como absorbedor son de uso para sistemas de refrigeración con temperaturas de 0°C a menos. Dentro de sus aplicaciones industriales tenemos en la industria química de fármacos, industria de conservación de alimentos a bajas temperaturas como cámaras frigoríficas o para preservación en túneles de congelamiento para temperaturas de hasta -30°C para diversas capacidades. Debido al hecho que el amoníaco es el refrigerante, la temperatura de refrigeración que puede alcanzarse es hasta - 55 °C para casos muy especiales, tal como es la lixiviación para el transporte de productos hidrobiológicos a largas distancias, contenedores de barcos. Si el sistema se está instalado en un espacio hermético, es necesario la ventilación del espacio, para detectar la presencia del amoníaco en el ambiente, cuya fuga siempre es riesgosa. (Stieiu, 2010)

La dupla formada entre el agua y el amoníaco es de bajo costo y tiene alta estabilidad química. La elección de la ubicación de la instalación debe cumplir las normativas de seguridad ante fugas de amoníaco, debido a que el vapor de amoníaco es una sustancia muy tóxica. Las características de presión y temperatura del amoníaco dan por resultado que se tengan presiones altas en los depósitos de almacenamiento. El sistema de agua y amoníaco puede emplearse a muy bajas temperaturas, ya que el refrigerante tiene un bajo punto de solidificación, excepto a temperaturas criogénicas cerca de los  $-161^{\circ}\text{C}$ . Se tienen equipos adicionales tal como el purificador o separador que filtra las partículas de agua contenidas en el refrigerante luego de salir como vapor del generador. Las partículas de agua decantadas regresan al absorbedor. Una partícula de agua que se filtrase con el refrigerante podría hacer colapsar al sistema en el evaporador al congelarse el agua dentro de las tuberías del evaporador provocando el colapso del sistema. Los costos de los sistemas agua y amoníaco son muy altos con respecto al de agua y bromuro de litio. (Aguilar, Quintanilla, Ruiz y Tinetti, 2012)

Los sistemas de refrigeración por absorción con amoníaco y agua se clasifican de acuerdo al número de etapas del evaporador. Un sistema con una sola etapa tiene una sola etapa de evaporación/absorción, y un sistema de 2 etapas presenta dos. Las condiciones de operación son:

Ciclo simple:  $\text{COP} = 0.5 - 0.6$  (temperatura mayor a  $90^{\circ}\text{C}$ ).

Ciclo G.A.X:  $\text{COP} = 1.0$  (temperatura mayor a  $160^{\circ}\text{C}$ ).

## **2.3 Trigeneración.**

### **2.3.1 Fundamentos:**

La trigeneración es una tecnología de muy alta eficiencia energética que se caracteriza por la generación simultánea de energía eléctrica, calor de procesos y de sistemas de refrigeración operando a temperaturas menores a la temperatura del medio ambiente empleando una sola fuente de energía primaria. Combina un sistema de cogeneración con un sistema de refrigeración por absorción. Son sistemas de alto rendimiento energético empleados en aquellas empresas de producción y servicio que requieran tres tipos de energía para su consumo. Se tienen muchas aplicaciones de la trigeneración en complejos habitacionales, asilos, aeropuertos, zoológicos en Alemania. (Crispín y Haro, 2015)

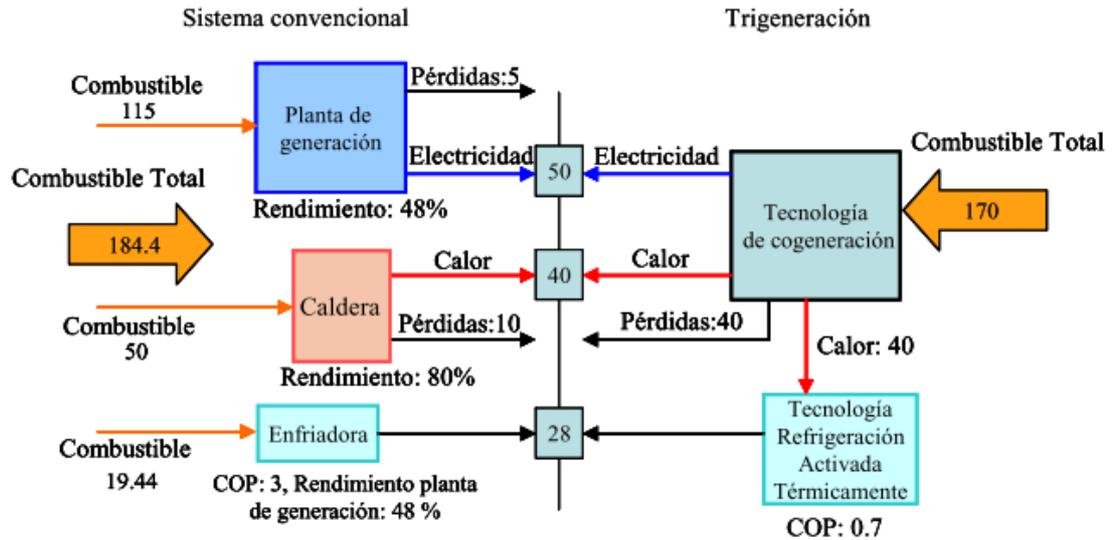
La tecnología de trigeneración se empieza a desarrollar en la década de los 80 del siglo pasado en los países europeos integrando las tres formas de energía útil predominantes para su consumo en una empresa, aprovechando la tecnología de la cogeneración muy desarrollada para esos años con la tecnología de la refrigeración por absorción que data de mediados de siglo XX, y que estuvo postergada por su alto costo de operación, ya que requería de una fuente de calor para su funcionamiento y que estaba asociada a la generación de vapor empleando combustible en un caldero. Teniendo en cuenta que la cogeneración tiene como premisa fundamental la generación de calor empleando fuentes de calor residuales, genera la condición de costo cero, con lo cual se viabiliza el empleo y operatividad de los sistemas de refrigeración por absorción. Actualmente su uso está muy difundido en países europeos y de América del norte, en Latinoamérica México a implementado muchos sistemas de trigeneración desde inicios de siglo. (Ballestas, 2012)

Los principales beneficios de la implementación de los sistemas de trigeneración radican en la reducción de costos al generarse tres tipos de energía útil partiendo de una única fuente de energía primaria, que por lo general es un combustible, y mucho mejor si es gas natural. Del mismo modo el incremento de la eficiencia global de consumo dentro de una planta consumidora de energía con menor impacto sobre el medio ambiente. (Ballestas, 2012)

En la Figura siguiente, se representan un sistema de trigeneración y un sistema convencional para suministro de energía en una planta consumidora de energía. Se puede observar que en el sistema de trigeneración se produce la misma cantidad de energía útil, utilizándose una menor magnitud de energía primaria entrante, lo que demuestra ser un sistema energéticamente de alto rendimiento mayor a un sistema tradicional según los detalles de la figura 7. (Marimon, 2011)

Figura 7

*Comparativo entre Sistemas de Trigeneración y Sistema de suministro convencional de energía.*



Nota. Imagen obtenida de Crispín y Haro (2015).

La eficiencia para el sistema convencional es:

$$\text{Eficiencia Sistema Convencional} = \frac{50 + 40 + 28}{184.8} * 100\% = 63.8 \%$$

$$\text{Eficiencia Sistema Cogeneracion} = \frac{50 + 80}{170} * 100\% = 92.9 \%$$

El estudio de sistemas de trigeneración se complementa con el desarrollo de los equipos instalados, lo que dándole el marco teórico que requiere. Sus ventajas en relación a los sistemas tradicionales de suministro de energía son:

- Mejores condiciones para las instalaciones que se vienen realizando.
- Flexibilidad de los reglamentos y normas para la conexión de los sistemas de trigeneracion a la red externa.
- Creación de un mercado mucho más dinámico para la comercialización de componentes, desarrollándose investigación y tecnología eficiente con novedosos sistemas de monitoreo y control.
- Mayores beneficios al medio ambiente, ante una menor cantidad de emisiones emitidas. (Crispín y Haro, 2015)

Los componentes de las plantas de Trigeneración a permitido su constante innovación tecnológica en la calidad de los componentes, en materiales y sistemas de control

desarrollándose modelos eficientes de generadores de vapor recuperadores de calor HRSG, absorbedores, generadores, redes de tuberías para soluciones acuosas, separadores, así como ha perfeccionado las configuraciones de los condensadores y calidad del material de los evaporadores, empleándose actualmente aluminio y titanio. Del mismo modo los componentes de los servicios auxiliares, permitiéndose su integración en procesos industriales y de servicio. (Crispín y Haro, 2015)

El principal beneficio de la trigeneración, es que agrega a la cogeneración de que por sí es una tecnología eficiente, un “plus” de recuperación de calor para generar fluidos a temperaturas menores a la temperatura atmosférica, obteniéndose un mayor rendimiento en el uso energético con respecto a la cogeneración. Como hemos podido comprobar, la trigeneración es un sistema de generación de energía en tres niveles, que involucra en sistemas de trigeneración con amoníaco, alcanzar temperatura de  $-5^{\circ}\text{C}$  para generación de hielo y conservación de productos, y en otros casos hasta  $-25^{\circ}\text{C}$  para sistemas de congelamiento. Mas aun representa más relevante su uso, cuando el flujo de energía empleado en el generador proviene de fuentes renovables. (Ahorreluz, 2017)

La Normativa vigente en Europa Directiva Europea sobre la promoción de la cogeneración, establece que la micro cogeneración es aquella tecnología asociada a la producción combinada de energía eléctrica (menor a 50 kW) y energía térmica, empleando una única fuente de energía primaria. De esta forma, las tecnologías utilizadas en microtrigeneración son de muy alto rendimiento y menos contaminantes en relación a las unidades de energía utilizadas. El modo de operación de los sistemas de trigeneración puede ser de forma separada en el caso de que el sistema proporcione calefacción en invierno y frío en períodos de calor, además de energía eléctrica durante todo el año. Para ello se requiere el empleo de bombas de calor. En modo simultaneo suministra energía eléctrica y de lo mismo genera cubre los requerimientos climatización y calefacción. (San Martín, Zamora, Aperribay y García, 2018)

Actualmente, los m.c.i son la tecnología más madura en el mercado junto con las microturbinas de gas menores a 50 KW para implementarse con la trigeneración en el sector terciario y residencial. Para el futuro se considera a las pilas combustible como alternativas tecnológicas debido a su alto rendimiento y desempeño en su versatilidad de

generación de energía eléctrica. Del mismo modo el motor Stirling se presenta como una alternativa remota para la trigeneración. (San Martín, Zamora, Aperribay y García, 2018)

Tabla 1

*Análisis comparativo entre tecnologías de microtrigeneración*

<b>Parámetros</b>	<b>Pilas combustibles</b>	<b>Microturbinas a gas</b>	<b>Motor Stirling</b>	<b>MCI ciclo diésel</b>	<b>MCI ciclo otto</b>
Rango de potencia	1W- 10 MW	25 kW - 300 kW	1 kW – 1,5 MW	5 kW – 20 MW	3 kW – 6 MW
Combustible	Hidrogeno	Gas natural, GLP, biogás.	Gas natural, GLP, biogás y alcohol.	Diesel y biodiesel	Gas natural, GLP, etanol
Rendimiento total (%)	35-60	15-30	12-92	30-50	25-45
Temperatura de salida de gases (°C)	60- 1 050	200-350	60-200	400-500	450-500
Ruido	Silencioso	Admisible	Admisible	Ruidosos encapsulados	Ruidosos encapsulados

*Nota.* Tabla tomada de San Martín, Zamora, Aperribay y García. (2018)

Los arreglos de trigeneración se clasifican en básicas y avanzadas. Los arreglos del tipo básico se refieren a aquellas en la cual el sistema de refrigeración se activa indirectamente empleando sistemas de recuperación de calor sensible. En los arreglos de trigeneración básica se emplean sistemas recuperadores de calor como cambiadores de calor tipo aire con agua, aire con aceite, agua con agua para generar agua caliente o aceite caliente; o generadores de vapor Heat Recuperator steam generator. (Arias y Espinoza, 2013)

En los sistemas de tipo avanzado son aquellas los componentes de la refrigeración térmica se activan de forma directa empleando los gases calientes de la maquina generadora de potencia de la unidad de cogeneración o empleando simultáneamente los gases de escape con un alto calor sensible y/o el agua caliente proveniente del sistema de enfriamiento del motor. Para ello es necesario el empleo de materiales resistentes a la corrosión a altas temperatura y sofisticados sistemas de control de la gestión de la energía para el empleo

eficiente del fluido residual en el generador sin afectar la operatividad del motor del grupo electrógeno. (Arias y Espinoza, 2013)

### 2.3.2 Aplicación de la trigeneración.

Son clientes potenciales de los sistemas de trigeneración aquellas que presentan las siguientes características operativas:

Demanda de calor de proceso, frío y energía eléctrica simultánea y continua.

Cadena de suministro de combustible segura y continua.

Operación en 4 500 -5 000 horas anuales.

Cumplimiento de normativas referente a ubicación a equipos.

Efluentes previamente tratados antes de su vertimiento. (Crispín y Haro, 2015)

Son los sectores industriales papelerero y alimentario (lácteos, bebidas, cereales y gaseosas) las empresas del sector industrial que más se adecuan a los sistemas de trigeneración. Un caso particular son las empresas de harina de pescado que cuentan con plantas de frío, en este caso en las instalaciones de harina se instalan las plantas de cogeneración para suministrar energía eléctrica y obtener calor residual para los procesos de cocción y evaporación, el mismo flujo de calor puede emplearse en sistemas de absorción con agua amoniacal para sus plantas de conservación y congelamiento. Por otro lado el sector de servicios hospitalario también se presenta como un sector propicio para la trigeneración, por ejemplo se requiere siempre energía eléctrica y energía térmica en forma de ACS y vapor saturado para los procesos de lavado, esterilizado y cocinado, del mismo modo existe una fuerte carga de climatización o aire acondicionado, así como para la conservación de vacunas, tal como se ha visto necesario en periodos de pandemia y para incubadoras. (Crispín y Haro, 2015)

### 2.3.3 Trigeneración con motores de combustión interna.

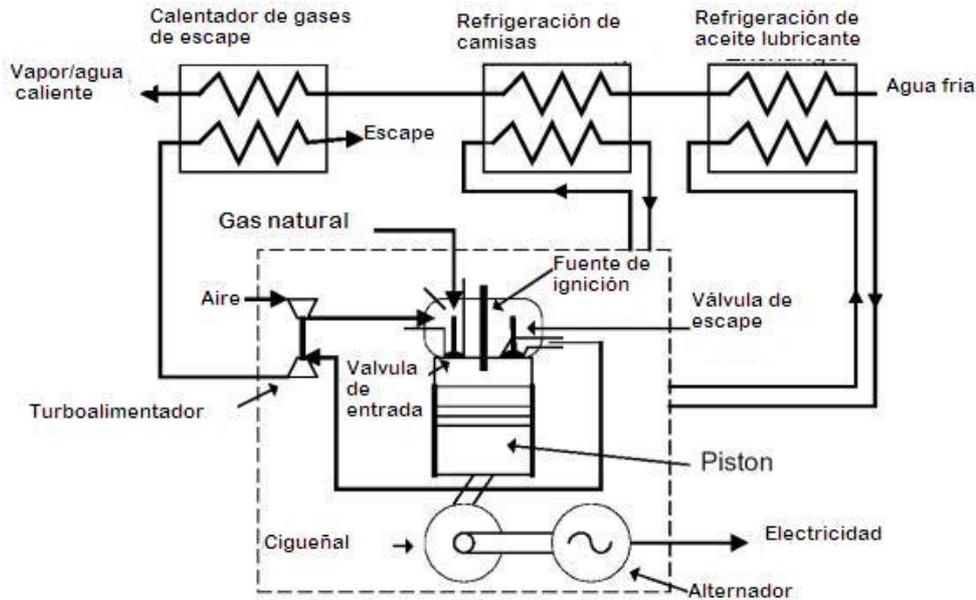
Los motores de combustión interna son máquinas motrices empleadas en los sistemas de cogeneración para centros de salud y hospitales, debido a que presentan una alta tasa de consumo de energía eléctrica en comparación a la demanda térmica. Se presentan los circuitos aprovechables:

- Enfriamiento del aire en intercooler para motores turboalimentados.
- Sistema de enfriamiento del aceite de lubricación. (50-80°C).

- Circuito de enfriamiento del agua de refrigeración. (120-90°C).
- Circuito de gases salientes del múltiple de escape (400-550°C). (Aguilar, 2022)

Figura 8

*Flujo de calor remanentes en un motor alternativo*



Nota. Imagen tomada de Aguilar (2022)

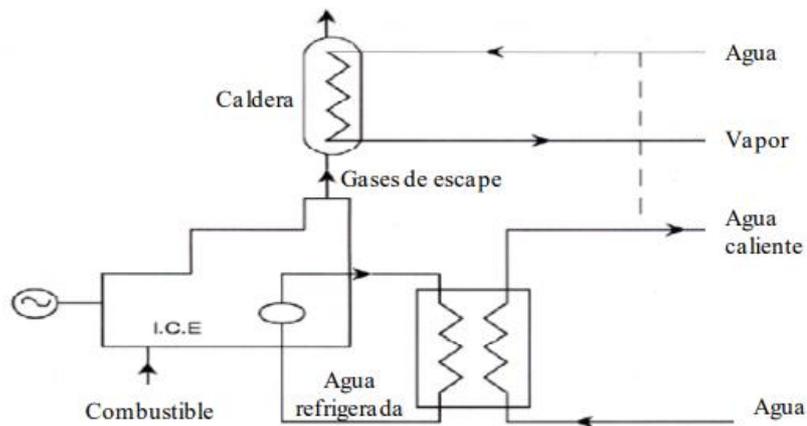
Los motores de encendido por explosión utilizan como combustible el gas natural para unidades de mediana y gran potencia básicamente por su bajo lo que es ideal para los sistemas de trigeneración, en algunos casos dependiendo de factor costo se puede consumir GLP, biogás y gasohol, aunque este último resulta antieconómico para un sistema de generación convencional de energía. Mientras para los motores con encendido por compresión, son antieconómicos en su utilizan como elementos de generación de energía oscilando si costo variable combustible entre 200-220 U\$/MWh a diferencial del gas natural que alcanzan valores de 30 U\$/MWh. Del mismo modo los motores con gas natural son los más livianos, compactos y ocupan un menor espacio y son ideales para trabajos continuos, mientras que los motores diesel son más pesados, ocupan mayor espacio y por lo general se acondicionan para operaciones de emergencia o cuando no existe energía de la red en un sistema aislado. (Marimon, 2011)

El flujo de calor remanente del motor se utiliza en la generación de agua caliente sanitaria y vapor saturado. En la figura 9 se presenta un arreglo del sistema de

recuperación de flujos de calor en los que se fundamenta la cogeneración con mci. (Marimon, 2011)

Figura 9

*Esquema de distribución de flujos de un mci.*

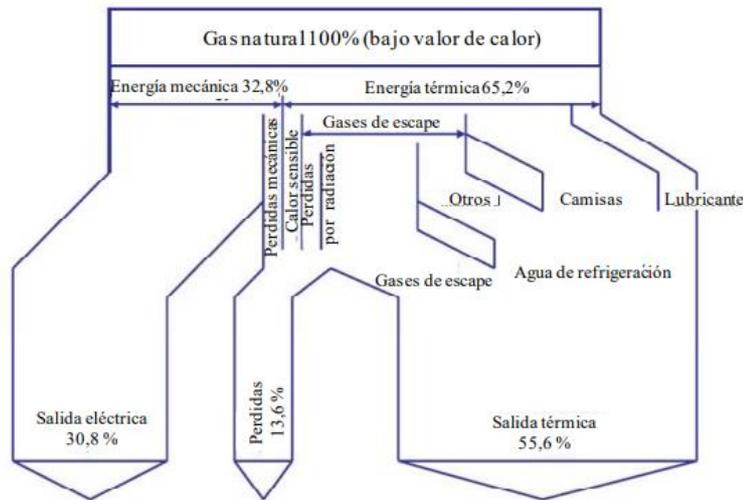


*Nota.* Imagen obtenida de Marimon (2011)

En los m.c.i el porcentaje del calor sensible recuperado del sistema de refrigeración de las chaquetas de los cilindros y del aceite representa cerca del 25 % de la potencia térmica suministrada por el combustible con lo cual se puede calentar agua hasta 80 °C para un proceso de generación de vapor o es suficiente para generar el agua caliente sanitaria a 50°C. Por otro lado el calor remanente de los gases de la combustión representa entre 30-35% de la energía suministrada, y el flujo de calor más representativo a recuperarse para la producción de vapor saturado, los gases pueden estar entre 450 a 550 °C dependiendo del tipo de motor. (Espinoza y Arias, 2013)

Figura10

*Balance de energía en mci.*



Nota Imagen obtenida de Marimon (2011)

Dentro de las ventajas de los mci se menciona su adaptabilidad a operar en casos de emergencia y la rapidez con la realizan su toma de carga, con valores de rampa de arranque que pueden ser entre 15-20 segundos. Del mismo modo su bajo costo específico entre 400-600 U\$/kW, valor muy atractivo frente al costo específico de las turbinas de gas que van desde 800-1 000 U\$/kW y las turbinas de vapor que alcanzan valores de 1 200 U\$/kW. Respecto a su periodo de montaje pueden ser de 4 meses a 1 año dependiendo de su capacidad y potencia. Dentro de sus desventajas tenemos el ruido superior a 120dB, recomendándose de tener cubiertas insonoras. (Marimon, 2011)

La versatilidad de los mci frente a las turbinas, radica en que pueden operar dentro de un amplio rango de carga, esto porque la curva de rendimiento no varía demasiado al reducirse el factor de carga.

Figura 11

*Evolución del rendimiento de un mci con gas natural con la carga*

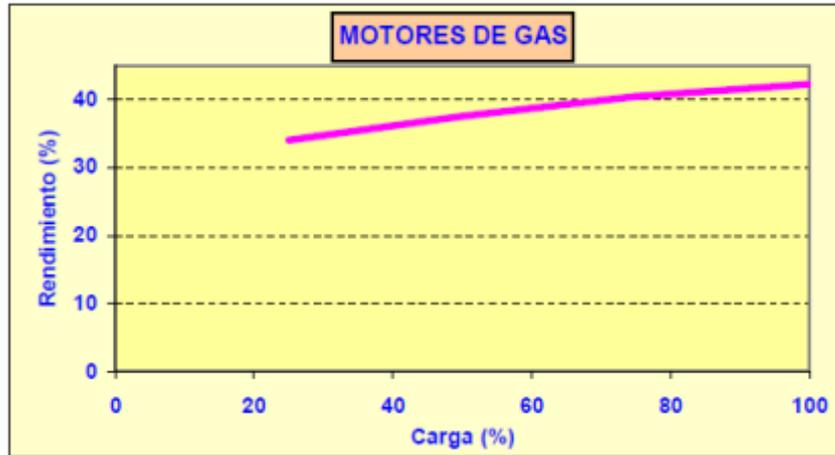


Imagen. Obtenido de Rubio (2019)

## 2.4 Sistemas de recuperación de calor para emplearse en trigeneración.

Los m.c.i generan calor, teniendo rendimientos entre 25-32% para motores con aspiración natural y 45-50% para motores turboalimentados. El calor sensible representa energía térmica disponible para su recuperación y darle un valor agregado al bajo rendimiento. Para los m.c.i con sobrealimentación que se emplean en grupos electrógenos con más de 50 KW, el potencial energético de recuperación es mucho mayor con respecto a uno de menor potencia. De no recuperarse los gases calientes serían expulsados a la atmosfera generan perjuicios al medio ambiente y con ello se reduce su efecto. (Bowman, 2022)

La recuperación de este “calor sensible remanente” contribuye en el incremento del rendimiento del grupo electrógeno en su conjunto alcanzo rendimientos globales con el sistema de cogeneración y trigeneración de 75%. Lo que permite importantes ahorros económicos (estudio del cual se encarga la Termoeconomía) sobre todo si el combustible empleado es el gas natural. El único inconveniente es la sostenibilidad del suministro de combustible. El calor recuperado se puede utilizar para una gama de aplicaciones industriales, la generación de electricidad adicional, junto con un motor Stirling, o incluso hacer funcionar un enfriador para un enfriamiento confortable. (Bowman, 2022)

### 2.4.1 Recuperación de calor sensible de los gases calientes de la combustión.

Los gases de combustión del m.c.i poseen temperaturas entre 450-550°C. La recuperación del calor residual se realiza reduciendo la temperatura hasta 180°C en caso de emplearse combustibles con el petróleo DB5 o hasta enfriando los gases hasta 110 °C en caso

emplearse gas natural, el cual tiene un mayor gradiente de recuperación de calor. La temperatura de lluvia acida para la combustión del petróleo es cercana a los 150 °C con lo cual esta limitado para dicha temperatura su recuperación. En cambio, el gas natural posee una temperatura cercana a los 70°C con lo cual su gradiente de recuperación de calor es mucho mayor. Se ha estimado un indicador de recuperación de calor de 0,45 kWh/kWh eléctrico generado. (Aguilar, 2022)

La temperatura de gases de combustión expulsados por los m.c.i son cercanos a los valores obtenidos a la salida de las turbinas de gas, con la única diferencia que en la turbina de gas el flujo masico de los gases de la combustión es mucho mayor para maquinas que generen una misma potencia efectiva. Si el contenido de oxígeno es suficientemente alto en los gases de la combustión tendrá la posibilidad de ser empleado como un combustible de segunda categoría con menor poder calorífico. Tal como ocurre en la adición de fuego adicional de las centrales de ciclo combinado. (Aguilar, 2022)

#### **2.4.2 Sistema de recuperación del sistema de enfriamiento del motor de combustión interna.**

Los sistemas de refrigeración se clasifican según el elemento empleado para el enfriamiento del m.c.i en algunos acsos para motores de 4T y de gran capacidad se opta por los sistemas de refrigeración con agua o liquido anticongelante y en otros casos se emplea aire para sistemas de baja capacidad y de 2 tiempos monocilindricos. riar el motor, pues en algunos casos es líquido y en otros es por aire. El agfua dentro del motor circula a través de las camisas que recubtren los cilindros los cuales se encuentrana altas temperaturas , el agua refrigerante atemperaturas entre 120 a 130 °C debe ser retirado del motor para que nuevamente recupere una temperatura entre 80 a 90°C mediante un termostato para su reingreso al motor. (Aguilar, 2022)

Posteriormente el agua circula a través de un radiador que es un intercambiador de calor de flujo cruzado que es impulsado por un ventilador que opera sincronizadamente con la velocidad del motor. Tomando en cuenta este principio se han instalado recuperadores de calor en forma de intercambiadores de calor agua y agua, en el cual el agua previamente pasada o no por el recuperador de calor del aceite lubricante está en la capacidad de

calentar el agua de procesos hasta 75 °C como máximo. Estos equipos utilizan configuraciones en contracorriente y materiales de alta conductividad. (Aguilar, 2022)

La temperatura es un factor muy importante en la continuidad y seguridad del sistema, para ello se han adaptado novedosos sistemas de control de temperaturas con termostatos para mantener monitoreadas tanto el valor de la temperatura del motor y la máxima temperatura que puede alcanzar el agua de procesos precalentada. Es por ello muy importante el control de la temperatura en la operación, de tal forma que no existe en ningún instante un sobrecalentamiento en el grupo electrógeno, que pueda ocasionar siniestros dentro de él, en sus componentes metálicos que requieren al sistema de refrigeración para operar eficazmente. (Aguilar, 2022)

#### **2.4.3 Recuperación del sistema de lubricación del motor.**

El sistema de lubricación del motor cumple dos funciones: la primera de ellas es la de lubricar las piezas móviles en contacto y permanente fricción y también cumple la función refrigerante directa en zonas dentro del m.c.i en la cual el agua de refrigeración no puede llegar. El aceite lubricante convencional es el de tipo multigrado el cual se caracteriza de mantener sus propiedades lubricantes y sobre toda su viscosidad en un rango amplio de temperaturas. Es primordial enfriar progresiva y de forma continua el aceite para mantener su calidad. En grandes sistemas con potencias mayores a 200 kW el volumen de aceite circulante es alto y no está garantizado que en el cárter del motor se reduzca la temperatura del aceite. Por ello se han implementado novedosos sistemas de recuperación de calor a través de intercambiadoras de calor con agua o aire indirectamente fuera del motor para enfriar al aceite lubricante. Bajo este concepto se adecuado realizar la recuperación del calor sensible del aceite lubricante utilizando un cambiador de calor agua y aceite, de tal manera que se pueda obtener agua a 40 o 45°C para un proceso primario para obtener agua caliente o vapor saturado.(Kia Motors, 2020)

#### **2.4.4 Caldera de recuperación.**

La caldera de recuperación (HRSG) es un equipo térmico isobárico que permite el aprovechamiento de los gases calientes de un proceso de combustión para generar vapor saturado existiendo una variante que genera vapor sobrecalentado desde 1, 2 a 3 niveles de presión distinta y son empleados en las centrales de ciclo combinado. La recuperación

de los gases calientes permite el ahorro de energía primaria que es reemplazada con el consiguiente ahorro económico. (Rubio, 2019)

Calderas pirotubulares según la norma EN12952:

El agua circula por el exterior de los tubos y los gases por el interior de estos.

Presión  $\leq 10$  bares.

Temperatura  $\leq 300^{\circ}\text{C}$  (vapor sobrecalentado).

Generación  $\leq 25\text{t/h}$  de vapor. (Rubio, 2019)

Figura 12

*Caldera recuperadora de calor para vapor a baja presión*



Imagen obtenida de ATTSU (2022)

Los gases de la combustión ingresan al manifold receptor de gases y se distribuyen de forma uniforme a través del banco de tubos, fluyendo por el interior en dirección longitudinal hasta el depósito de gases posterior, donde luego fluyen al intercambiador de calor para el calentamiento del agua de alimentación. A fin de facilitar el acceso al circuito de agua/vapor, los HRSG presentan en su registro de hombre acceso fácil y además dos bocas adicionales situadas en los laterales contiguos. El Pinch Point toma valores menores a  $10^{\circ}\text{C}$  y Approach point de  $5^{\circ}\text{C}$  que garantizan un buen desempeño y ahorro energético y económico en la instalación de recuperación de calor residual. (ATTSU, 2022)

El aislamiento térmico conforma la cubierta protectora que se adiciona aun sistema caliente para evitar las pérdidas de calor por conducción a través de ella. Se caracterizan por tener una baja conductividad térmica y son de alta densidad, seguido al aislamiento térmico, se recubre por seguridad por una delgada de plancha de material galvanizado y se remacha para darle consistencia al recubrimiento. En algunos casos se opta por el monitoreo con sistemas de adquisición de datos para evaluar periódicamente el desempeño del aislamiento y poder corregir las posibles fugas o infiltraciones de calor. (ATTSU, 2022)

## **2.5 Requerimiento de energía en centros de salud.**

### **2.5.1 Requerimiento de calor.**

El empleo de energía es un requerimiento vital en un centro de salud, no se puede suponer lo que pueda suceder en casos de déficit de energía en determinado periodo de tiempo, el costo en vidas puede ser de gran magnitud. La energía eléctrica como los combustibles petróleo, GLP o gas natural son necesarios para la sostenibilidad del funcionamiento. El volumen de energía consumida dependerá de la capacidad de la entidad de salud para atención ambulatoria o hospitalización. Se requiere siempre tener un grupo electrógeno como unidad de respaldo o sistemas con paneles solares para las unidades críticas.

La electricidad: Se considera la principal fuente de energía. Se emplea en los sistemas de iluminación y permite opera las equipos biomédicos, aire acondicionado, sistemas de respiración, ascensores entre otros , así como mantiene en operatividad los sistemas administrativos, farmacia,etc. (López, 2011)

El petróleo y/o gas: Son necesarios para los sistemas de calefacción, generación de vapor y agua caliente sanitaria, transporte de ambulancias. Una energía secundaria obtenida es el vapor saturado empleado en lavandería, esterilización y cocinas. (López, 2011)

Proceso de esterilización Se le puede determinar que todo tipo de gérmenes patógenos, es la norma de todo tipo debido a que se incluye, la célula sexual, es un enjuiciamiento a través del labrantío de la poción existe copiosos métodos que exhortan la explotación de material estéril. La Presión de vapor se representan a borde de 0.95 (95% de fluido y 5%

de sumario) liberado de contaminaciones, vapor saturado, manipulando agua tratada o blanda. (Chango, 2017)

Las autoclaves son recipientes metálicos de paredes resistentes y cierre hermético, que sirven para la esterilización de equipos, materiales reusables, mediante la combinación de tiempo, calor y presión, con vapor de agua. Estos equipos funcionan permitiendo la entrada de vapor, pero restringiendo su salida, hasta obtener una presión interna de aproximadamente 103 kPa, lo cual provoca que el vapor alcance una temperatura de 121 °C. (Chango, 2017)

La secadora es una máquina que se utiliza para secar ropa después del proceso de lavado, funciona básicamente con el ingreso de aire caliente en el interior del tambor giratorio dentro del cual la ropa húmeda da vueltas lentamente. (Chango, 2017)

### **2.5.2 Cadena de frío.**

La cadena de frío es un conjunto de normas y procedimientos que aseguran el correcto almacenamiento y distribución de vacunas a los servicios de salud desde el nivel nacional hasta el nivel local. La cadena de frío está interconectada con equipos de refrigeración que permiten conservar las vacunas a las temperaturas recomendadas para mantener su potencia. Dependiendo del tipo de la vacuna hay dos rangos de temperaturas para el almacenamiento de las mismas: Vacunas que son sensibles al congelamiento deben almacenarse a temperaturas entre 2°C a 8°C. Las vacunas producidas con cepas víricas y/o liofilizadas pueden almacenarse a temperaturas entre -15°C y -25°C. (Organización Panamericana de la salud, 2021)

En la actualidad, el mantenimiento de la cadena del frío es el único método que permite garantizar la inmunogenicidad y eficacia protectora de una vacuna desde su elaboración hasta su administración. Para que ésta sea operativa es necesario que los profesionales implicados en sus distintas fases, almacenamiento, transporte y administración tengan una formación adecuada sobre la termolabilidad de los productos que manipulan. La temperatura y el tiempo son factores importantes para el mantenimiento de cadena de frío, donde a mayor incremento de ambos, mayor deterioro del material biológico. Cuando una

vacuna pierde su eficacia protectora ya sea por el frío o el calor no se recupera así sea almacenada a una temperatura adecuada. (More, 2020)

Lastimosamente no se puede identificar la pérdida de eficacia de una vacuna, debido a que no hay signos externos que la muestren, la única vacuna que puede ser detectada es la DTPa, cuando esta ha pasado por un proceso de congelación. Las vacunas, sufren deterioro y degradación acelerados por el calor como todas las sustancias biológicas, como resultado a ello, el principio activo o antígeno inmunizante se destruye. El proceso de degradación se puede postergar o detener temporalmente, mediante la aplicación de frío. Por tal motivo las vacunas deben ser conservadas a temperaturas frías, estables y adecuadas al tipo de elementos constitutivos de cada una. Existen dos rangos de temperaturas que interesan para las vacunas: refrigeración y congelación. Refrigeración se considera una temperatura entre 0°C y 8°C, donde lo adecuado es mantenerla entre +2°C y +8°C. Para su control es preferible una temperatura de +4°C; y congelación: se refiere a una temperatura entre 0°C y -20°C. Por tanto, debido al carácter termosensible de la vacuna es necesario mantenerla en +2°C y +8°C, evitando errores durante el transporte, almacenamiento y manipulación, y así conservar la eficacia de la vacuna. (More, 2020)

La Autonomía Frigorífica Minsa es el tiempo útil que brinda el equipo de refrigeración (cámaras frigoríficas para vacunas, refrigeradoras Ice Lined, refrigeradoras solares), en mantener temperaturas +2°C y + 8°C; ante una interrupción del suministro de energía o falla de equipo, (Rodas,2021)

“Vida Fría” de un componente térmico: Se define como vida fría de un componente térmico al tiempo en horas que demora en subir la temperatura de la vacuna desde el momento en que se colocó en el mismo, hasta el rango máximo temperatura crítica (+8 °C). Factores que afectan la “VIDA FRÍA”:

- Temperatura ambiente que rodea la refrigeradora.
- Tipo de insulado de la refrigeradora.
- Carga térmica que se guarda al interior del refrigerador. (Rodas, 2021)

## *Refrigeradoras de Vacunas*



*Imagen. Obtenida de MINSA (2022)*

### **2.6 Cobertura de la demanda.**

La demanda energética de un centro de consumo de energía puede ser eléctrica y térmica. El suministro convencional para la cobertura de la demanda tiene las características siguientes:

Suministro de la demanda eléctrica, se realiza a través de las empresas distribuidoras que tienen cargo la comercialización de la energía eléctrica, esta se realiza por medio de tarifas con precios regulados. Para grandes consumidores con demandas mayores a 2,5 MW la venta de energía se realiza vía mercado libre pudiendo adquirir la energía y potencia a una empresa generadora o distribuidora. La cadena de suministro se inicia con la generación de energía, luego el flujo de este a través de las redes de transmisión y la llegada a los puntos de consumo cuya concesión esta a cargo de una empresa distribuidora. ente el que realiza la comercialización de la energía y la potencia. (Rojas, 2021)

La cobertura de la demanda térmica se realiza con la venta de combustibles a través de empresas autorizadas como QUAVII, PECSA, Costa Gas, Energigas, etc., las cuales comercializan GLP, GNC, Petróleo R500 o Biodiesel en Chimbote. El combustible luego es combustionado en calderos, hornos o secadores según el tipo de uso de la empresa, Los precios de combustibles y líquidos están sujetos a la ley de la oferta y demanda, mientras que los precios del gas natural son regulados por el OSINERGMIN. (Rojas, 2021)

Según la demanda eléctrica la potencia eléctrica máxima del grupo electrógeno este puede

coincidir con la máxima demanda eléctrica de la empresa, por lo tanto según este modo de operación no hay inyección a la red, con lo cual la autogeneración es al 100%. (Panaspaico, 2011)

Según la demanda térmica. Se selecciona la potencia térmica máxima del grupo electrógeno en la compra y el grado de carga en la operación del motor de manera de tal manera que se cubra la totalidad de la demanda térmica, pero existe la posibilidad que la cobertura de la demanda eléctrica sea parcial, total o con inyección a la red. (Panaspaico, 2011)

Operación a carga constante. En este caso el grupo electrógeno operara a carga constante, por lo general con factor de carga del 100%. Con este modo de operación, en función de la potencia del grupo electrógeno existirá un déficit o cobertura total de la energía térmica requerida. (Panaspaico, 2011)

### **3. Capítulo III: Material y Método**

#### **3.1 Material:**

##### **3.1.1 Demanda eléctrica.**

Se tiene las características contractuales de suministro de energía eléctrica en el Hospital La Caleta.

Suministro mediante SED Chimbote. Trifásico aéreo

Potencia contratada: 120 kW

Tarifa: MT3 Calificación mensual en Hora Punta.

Máxima Demanda Hora Punta: 80 kW

Máxima Demanda Horas Fuera de Punta: 110 kW

Factor de Carga: 0,80

Se cuenta con 02 grupos electrógenos de 1 kW FG Wilson y Modasa, los cuales son empleados en condiciones de emergencia, y operan con petróleo BD5.

### 3.1.2 Oferta térmica.

Se tiene 2 generadores de vapor pirotubulares con la información técnica siguiente:

Tabla 2  
*Información técnica de Calderas Pirotubulares*

<b>Características</b>	<b>Caldera 1</b>	<b>Caldero 2</b>
Potencia (BHP)	30	30
Año de fabricación	2002	1998
Marca	LOOS	Lowera
Condición	Operativa	Operativa (en stand by)
Combustible	Petróleo BD2	Petróleo BD2
Numero de pazos	2	2
Presión de servicio (bar)	6,5	6,5
Consumo combustible (galones/hora)	10,1	11,2
Eficiencia	84 %	83,5%

*Nota.* Información del Departamento de mantenimiento Hospital La Caleta

### 3.1.3 Demanda térmica.

- Secador Hagspiel.  
Presión de servicio: 1 bar.  
Flujo de vapor: 30 kg/h  
Tiempo de operación: 6 horas (9-10, 13-14 y 19-20)
- Secador Cimelco.  
Presión de servicio: 1 bar.  
Flujo de vapor: 30 kg/h  
Tiempo de operación: 6 horas (9-10, 13-14 y 19-20)
- Lavadora Baufor.  
Presión de servicio: 1 bar.  
Flujo de vapor: 15 kg/h

Tiempo de operación: 6 horas. (Turnos: 7-9, 11-13 y 16-18)

- Esterilizadores Tuttnager (04).

Presión de servicio: 2 bar.

Flujo de vapor: 15 kg/h total 60 kg/h

Tiempo de operación: 9 horas, (Turnos: 4-7, 9-12 y 3-6)

### **3.1.3 Demanda de conservación.**

- 03 conservadores de vacunas.

Temperatura de conservación: 5 °C.

Presión de servicio: 2 bar.

Potencia eléctrica: 1 kW

Tiempo de operación: 9 horas, (Turnos: 4-7, 9-12 y 3-6)

COP de operación: 3,2

### 3.2 Método.

3.2.1 En la presente investigación se aplicaron los siguientes métodos:

Método deductivo. - El plan de investigación plantea ir de lo general a lo específico; del cual se irán hallando los diversos efectos que se genera con la implementación de la trigeneración en la cobertura de la demanda.

Método descriptivo. – Porque se busca responder la pregunta acerca de cómo es una determinada parte de la realidad en este caso la trigeneración de energía influye en la cobertura de la demanda térmica y eléctrica.

3.2.2 El diseño de la investigación es pre experimental, en este caso el investigador se aproxima a una investigación experimental pero carece de medios de control suficientes que permitan la validez interna.



O1: Cobertura de la demanda sin trigeneración de energía.

O2 : Cobertura de la demanda con trigeneración de energía.

X: Sistema de trigeneración.

G.E: Instalaciones del Hospital La Caleta de Chimbote.

### 3.2.3 Metodología de cálculo:

Se presenta la secuencia de cálculo para obtener los resultados y discusiones en el presente informe:

- Determinación de la demanda térmica por vapor requerida en función a las demandas térmicas individuales de los puntos de consumo.

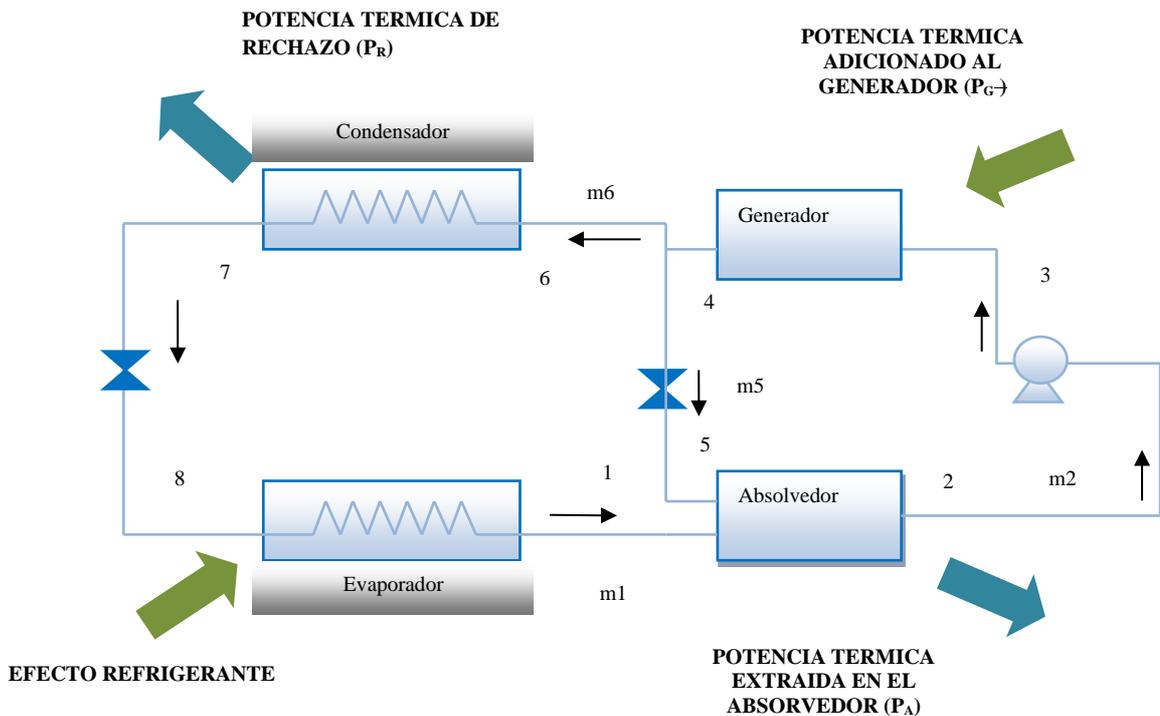
$$\dot{V}_{tv} = \sum_{i=1}^n V_i \dots \dots (1)$$

Donde el valor de  $n$  es el número de equipos consumidores de calor: 02 secadoras, 01 lavador y 04 esterilizadores.

- Cuantificación de la carga térmica frigorífica para el sistema de absorción, haciendo uso de las ecuaciones de la tesis de Crispín y Haro.

Figura 14

*Distribución de Flujo de Energía en Sistema de Absorción*



*Nota.* Elaboración propia

Las ecuaciones que siguen permiten la dimensión de la planta de refrigeración por absorción:

Balance de energía en el absorbedor: En el absorbedor el agua refrigerante saliente del evaporador como vapor saturado con condiciones de presión y temperatura del sistema al cual extrae el efecto refrigerante ( $3^\circ\text{C}$ ) es absorbido por el bromuro de litio, formándose una solución acuosa de agua con bromuro de litio con un determinado grado de concentración. Para ello se requiere extraer calor del sistema, por medio de un proceso exotérmico.

$$P_A + (m_2 * h_2) = (m_1 * h_1) + (m_5 * h_5) \dots \dots (2)$$

Dónde:

$h_2$  = Es la entalpia de la solución acuosa de agua y bromuro de litio, con una baja concentración de bromuro de litio.

$h_5$  = Es la entalpia de la solución acuosa de agua y bromuro de litio, rica en bromuro de litio (alta concentración de bromuro de litio) proveniente del

$h_1$  = Es la entalpia del vapor saturado (agua) a presión del evaporador.

Balance de energía en el generador: En el generador la solución acuosa débil en bromuro de litio entrante a condiciones de presión y temperatura se separan generando una solución rica en bromuro de litio que regresa al absorbedor. Mientras que el agua fluye al condensador. El generador y el condensador están a la misma presión. Para ello se requiere suministrar calor indirectamente al generador por medio de un proceso endotérmico.

$$P_G + (m_3 * h_3) = (m_4 * h_4) + (m_6 * h_6) \dots \dots (3)$$

Dónde:

$h_3$  = Es la entalpia de la solución acuosa de agua y bromuro de litio, con una baja concentración de bromuro de litio, entrante al generador.

$h_4$  = Es la entalpia de la solución acuosa de agua y bromuro de litio, rica en bromuro de litio (alta concentración de bromuro de litio) retornando al absorbedor.

$h_6$  = Es la entalpia del agua en estado de vapor sobrecalentado entrante al condensador.

Balance de energía en el condensador: En el condensador se produce el calor de rechazo del calor extraído al medio ambiente o medio exterior.

$$P_C + (m_6 * h_7) = (m_6 * h_6) \dots \dots \dots (4)$$

Dónde:

$h_6$  = Es la entalpia del agua en estado de vapor sobrecalentado ingresante al condensador.

$h_7$  = Es la entalpia del agua en estado de líquido saturado saliente del condensador.

Balance de energía en el evaporador.

$$E_R + (m_1 * h_8) = (m_1 * h_1) \dots \dots \dots (5)$$

Balance de energía total. Se cumple:

$$E_R + P_G = P_A + P_R \dots \dots \dots (6)$$

Potencia térmica suministrada al generador  $V_{SA}$ : El flujo de calor aplicado al generador para inducir la separación del agua de la solución acuosa de agua y bromuro de litio, pobre en bromuro de litio:

$$V_{SA} = \frac{P_G}{Eficacia\ del\ generador} \dots \dots \dots (7)$$

- Se determino seguidamente la carga térmica o demanda térmica total requerida por el hospital.

La cual es igual a la siguiente ecuación:

$$\dot{V}_t = \dot{V}_{tv} + V_{SA} \dots \dots \dots (8)$$

- Se dimensiono el grupo electrógeno para la cobertura de la demanda eléctrica y demanda térmica según la normativa de cogeneración del Perú.

Así tenemos para la cogeneración calificada para un m.c.i se deben cumplir los siguientes parámetros:

Relación de Cogeneración (C)

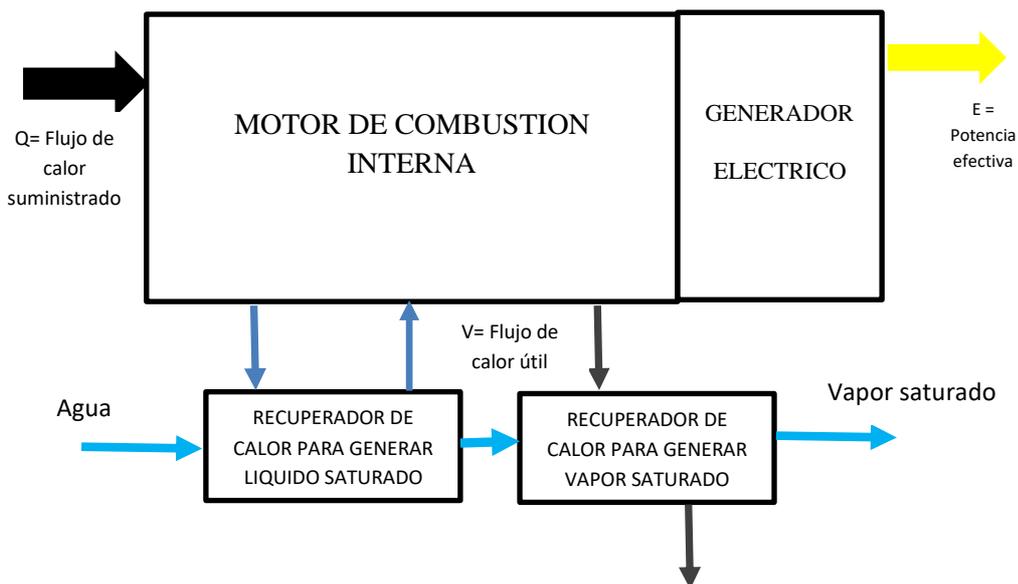
$$C = \frac{E}{V} \geq 0.60 \dots \dots \dots (9)$$

Rendimiento Eléctrico Efectivo (REE).

$$REE = \frac{E}{Q - \frac{V}{0.9}} \geq 0,55 \dots \dots \dots (10)$$

Figura15

*Parámetros de cogeneración calificada para un MCI*



Nota. Elaboración propia

- Seguidamente se determinó a través de un balance de energía la carga térmica recuperable del motor de combustión interna del grupo electrógeno. Empleándose las ecuaciones:

Para la recuperación de calor sensible del sistema de enfriamiento:

$$Q_{SE} = \dot{m}_{AE} * Cp_{AE} * (T_2 - T_1)_{AE} \dots \dots \dots (11)$$

$$Q_{A1} = \dot{m}_A * Cp_A * (T_f - T_i)'_A \dots \dots \dots (12)$$

Donde:

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

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

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

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

$Q_{A1}$  , referido al flujo de calor absorbido por el agua de proceso en el sistema de recuperación de calor del sistema de enfriamiento.

$\dot{m}_A$  , flujo masico de agua de proceso.

$Cp_A$  calor especifico a presión constante del agua

$(T_f - T_i)'_A$  gradiente de temperatura de entrada y salida del agua del sistema de recuperación de calor del sistema de enfriamiento del m.c.i

$$Q_{SE} = Q_{A2} \quad (13)$$

En la etapa de recuperación de calor sensible de gases de la combustión:

$$Q_{GC} = \dot{m}_{GC} * Cp_{GC} * (T_2 - T_1)_{GC} \dots \dots \dots (14)$$

$$Q_{A2} = \dot{m}_A * Cp_A * (T_f - T_i)_{A3} \dots \dots \dots (15)$$

Donde:

$Q_{GC}$  , 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.

$Cp_{GC}$  calor específico a presión constante de los gases de la combustión.

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

$Q_{A2}$ , referido al flujo de calor absorbido por el agua de proceso en el sistema de recuperación de calor de gases de la combustión.

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

$Cp_A$  calor específico a presión constante del agua

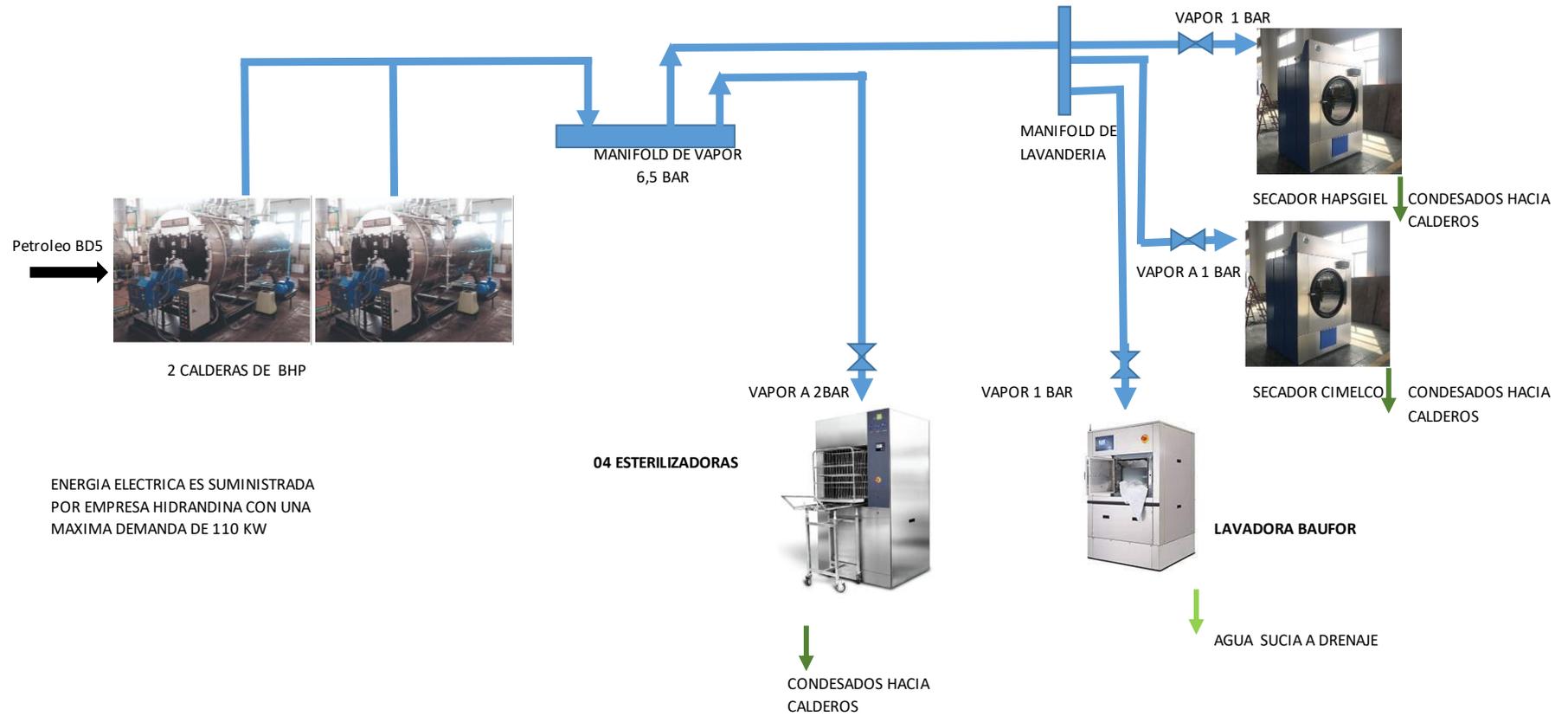
$(T_3 - T_2)_{A3}$  gradiente de temperatura de entrada y salida del agua en el sistema de recuperación de calor de gases de la combustión del m.c.i

$$Q_{SL} = Q_{A3} \quad (16)$$

- En las figuras siguientes se muestra el sistema actual de suministro de energía y la propuesta para el hospital-.

Figura 16

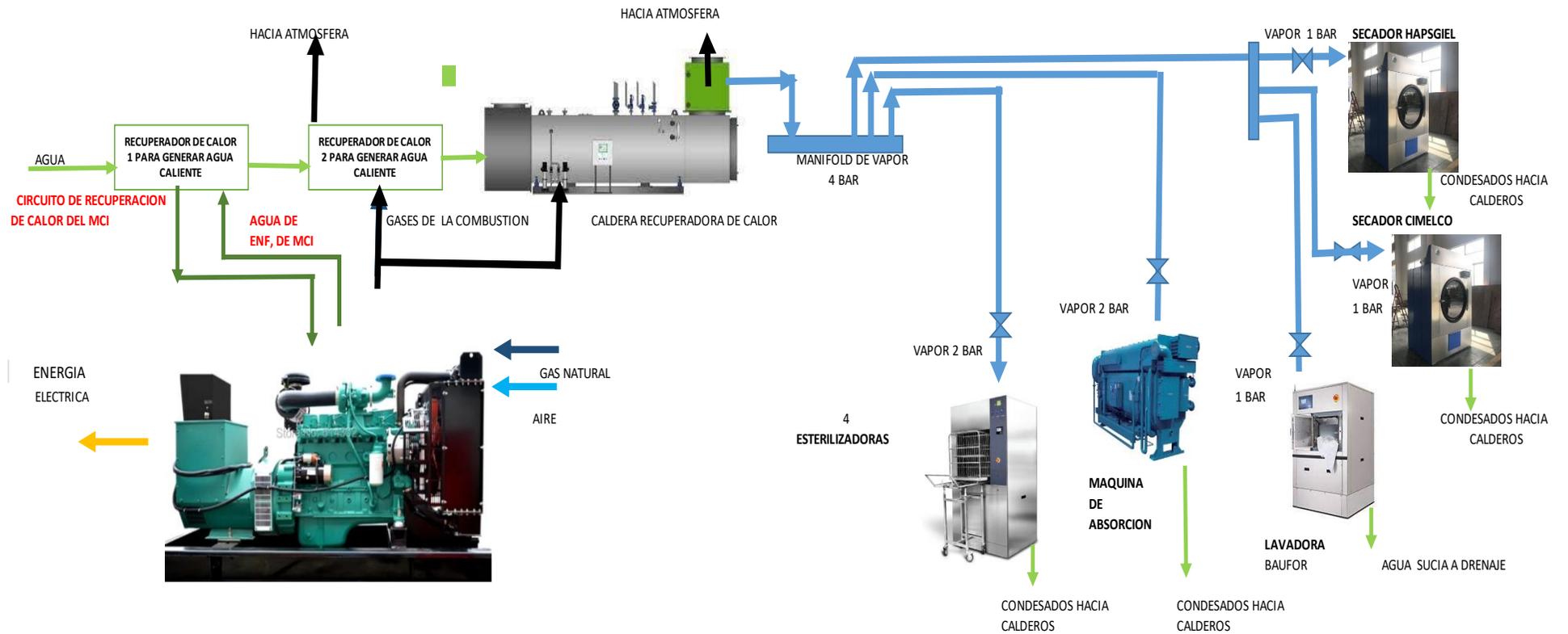
Sistema actual de cobertura de demanda térmica



Nota. Elaboración propia

Figura17

*Sistema propuesta para cobertura de demanda térmica*



Nota. Elaboración propia

#### 4. Capítulo IV: Cálculos y Resultados.

##### 4.1 Determinación de la demanda térmica requerida.

###### 4.1.1 Cuantificación del flujo de calor requerido en equipos consumidores de vapor.

La carga térmica para el Secador HPSGIEL se determina según el siguiente calculo:

Flujo masico de vapor saturado = 30 kg/h

Entalpia de vapor saturado a la presión de 2 bar = 2 706,3 kJ/kg

Entalpia de líquido saturado a la presión de 2 bar = 504,7 kJ/kg

$$\dot{V}_{SH} = \frac{30 * (2\,706,3 - 504,7)}{3\,600} = 18,34 \text{ kW}$$

La carga térmica para el Secador CIMELCO se determina según el siguiente calculo:

Flujo masico de vapor saturado = 30 kg/h

Entalpia de vapor saturado a la presión absoluta de 2 bar = 2 706,3 kJ/kg

Entalpia de líquido saturado a la presión absoluta de 2 bar = 504,7 kJ/kg

$$\dot{V}_{SC} = \frac{30 * (2\,706,3 - 504,7)}{3\,600} = 18,34 \text{ kW}$$

La carga térmica para la lavadora BAUFOR se determina según el siguiente calculo:

Flujo masico de vapor saturado = 15 kg/h

Entalpia de vapor saturado a la presión absoluta de 2 bar = 2 706,3 kJ/kg

Entalpia de líquido saturado a la presión absoluta de 2 bar = 504,7 kJ/kg

$$\dot{V}_{SC} = \frac{15 * (2\,706,3 - 504,7)}{3\,600} = 9,17 \text{ kW}$$

La carga térmica para la planta de esterilización (compuesta por 4 esterilizadoras) se determina según el siguiente calculo:

Flujo masico de vapor saturado = 60 kg/h

Entalpia de vapor saturado a la presión absoluta de 3 bar = 2 724,7 kJ/kg

Entalpia de líquido saturado a la presión absoluta de 3 bar = 561,4 kJ/kg

$$\dot{V}_{SC} = \frac{60 * (2\,724,7 - 561,4)}{3\,600} = 36,06 \text{ kW}$$

La carga térmica requerida por el hospital asociada al suministro de vapor se determina en función a la ecuación 1.

$$\dot{V}_{tv} = \sum_{i=1}^n V_i = 18,34 + 18,34 + 9,17 + 36,06 = 81,91 \text{ kW}$$

#### 4.1.2 Cuantificación de la carga térmica para el sistema de refrigeración por absorción.

##### Criterios de selección de la máquina de absorción:

Temperatura requerida por el conservador: 5 °C

Temperatura del refrigerante: 2 °C

Refrigerante: Agua

Líquido de absorción: Bromuro de litio.

Efecto refrigerante requerido.

$$\dot{E}_R = \text{Potencia eléctrica compresor} * \text{N}^\circ \text{de conservadores} * \text{COP}$$

$$\dot{E}_R = 1 * 3 * 3,2 = 9,6 \text{ kW}$$

En función a la figura N° 14 se establecen las temperaturas típicas de funcionamiento de los sistemas de refrigeración por absorción y los valores de temperatura mínima requerida para los conservadores:

T1 = 3°C (2° menos el punto de conservación de vacunas la cual se encuentra a 5 °C) a la salida del evaporador a la presión de baja del ciclo de refrigeración. De tablas de vapor corresponde un valor de presión de saturación igual a 0,76 kPa.

T2 = 30 °C salida del absorbedor.

T3= 33 °C salida de la bomba de solución acuosa.

T4 = 95°C salida del generador (de la solución acuosa rica en bromuro de litio rumbo a la válvula de expansión y el vapor sobrecalentado rumbo al condensador). La presión de alta

es el valor correspondiente a la Temperatura de 95 °C en condiciones de saturación iguala a 4,24 kPa.

$T_7 = 40$  °C valor de la temperatura final en el condensador a la presión de alta del ciclo de refrigeración.

Haciendo uso de los valores de las tablas de vapor, carta de equilibrio para solución acuosa de bromuro de litio y el Diagrama Entalpía concentración para soluciones saturadas de Bromuro de Litio. (Ver Anexos) se determinan las entalpias específicas del agua y de la acuosa agua-bromuro de litio para cada punto de la Figura N°14.

Punto 1: Vapor saturado a 3°C  $h_1 = 2\,507,1$  kJ/kg  $X_1 = 0$

Punto 2: Solución acuosa de agua y bromuro de litio a 30°C. Con el valor de la temperatura del refrigerante a 3°C se obtiene en la carta de equilibrio para solución acuosa de bromuro de litio, una concentración de bromuro de litio en la solución acuosa de  $X_2 = 0,53$ . Luego con el valor de  $X_2$  y la temperatura de la solución a 30 °C se obtiene en el diagrama de entalpia concentración para soluciones saturadas de bromuro de litio el valor de  $h_2 = -178$  kJ/kg.

Punto 3: La bomba impulsa la solución acuosa de bromuro de litio desde 0,76 a 4,24 kPa , se asume un incremento de la temperatura de 3°C para la solución , con un valor de  $T_3 = 33$ °C y además manteniéndose constante la concentración  $X_3 = X_2 = 0,53$  , se obtiene un valor de  $h_3 = -170$  kJ/kg.

Punto 4: La solución acuosa rica en bromuro de litio sale del generador hacia la válvula de expansión, a una temperatura de 95°C y a la presión de alta del sistema igual a 4,24 kPa, se obtiene un valor de  $X_4 = 0,65$  y un valor de  $h_4 = -60$  kJ/kg.

Punto 5: La solución acuosa sale de la válvula de expansión a un valor de  $X_4 = X_5 = 0,65$  y además el valor de  $h_4 = h_5 = -60$  kJ/kg. a una temperatura de 95 °C.

Punto 6: El agua en estado de vapor sobrecalentado separada en el generador a una presión de 4,24 kPa y una temperatura de 95 °C , tiene un valor de  $h_6 = 2\,678,7$  kJ/kg.

Punto 7: A la salida del condensador el agua refrigerante está en estado de líquido comprimido a 4,26 kPa y 40 °C, con un valor de  $h_7 = 167,5$  kJ/kg.

Punto 8: A la salida de la válvula de expansión el agua refrigerante tiene un valor de  $h_8 = 167,5$  kJ/kg. y una presión de 0,76 kPa.

Se determino el valor de  $m_1$  según la ecuación 5 para un efecto refrigerante igual a

$$E_R + (m_1 * h_8) = (m_1 * h_1)$$

$$9,6 + (m_1 * 167,5) = (m_1 * 2507,1)$$

$$m_1 = 0,004103 \text{ kg/s}$$

Además, se cumple que:

$$m_6 = m_1 = 0,004103 \text{ kg/s}$$

En el absorbedor se en un balance de masas se cumple que:

$$m_1 + m_5 = m_2 \dots \dots \dots \text{por lo tanto } m_5 = m_1 - m_2$$

Asumiendo un valor de  $m_2 = 0,002260$  kg/s , se obtiene un valor de  $m_5 = 0,001843$  kg/s.

Y en un balance de concentraciones:

$$X_1 * m_1 + x_5 * m_5 = X_2 * m_2$$

$X_1, X_2, X_3, m_1, m_2$  y  $m_3$

Reemplazando valores de  $X_1, X_2, X_3, m_1, m_2$  y  $m_3$  en el balance de concentraciones se obtiene el siguiente resultado:

$$0 * 0,004103 + 0,65 * 0,001843 = 0,53 * 0,002260$$

$$0,001198 = 0,001198$$

Se cumple que el valor asumido de  $m_2$  es correcto.

Además  $m_5 = m_4$  y  $m_2 = m_3$ .

Balance de energía en el absorbedor, según la ecuación 2:

$$P_A + (m_2 * h_2) = (m_1 * h_1) + (m_5 * h_5)$$

$$P_A + (0,002260 * -178) = (0,004103 * 2\,507,6) + (0,001843 * -60)$$

$$P_A = 10,58 \text{ kW}$$

Balance de energía en el generador, según la ecuación 3:

$$P_G + (m_3 * h_3) = (m_4 * h_4) + (m_6 * h_6)$$

$$P_G + (0,002260 * -170) = (0,001843 * -60) + (0,004103 * 2\,678,7)$$

$$P_G = 11,28 \text{ kW}$$

Balance de energía en el condensador, según la ecuación 4:

$$P_C + (m_6 * h_7) = (m_6 * h_6)$$

$$P_C + (0,004103 * 167,5) = (0,004103 * 2\,678,7)$$

$$P_C = 10,30 \text{ kW}$$

Balance de energía total en el sistema según la ecuación 6, en la cual se verifica el cumplimiento de la conservación de la energía en el sistema de refrigeración con absorción con bromuro de litio.

:

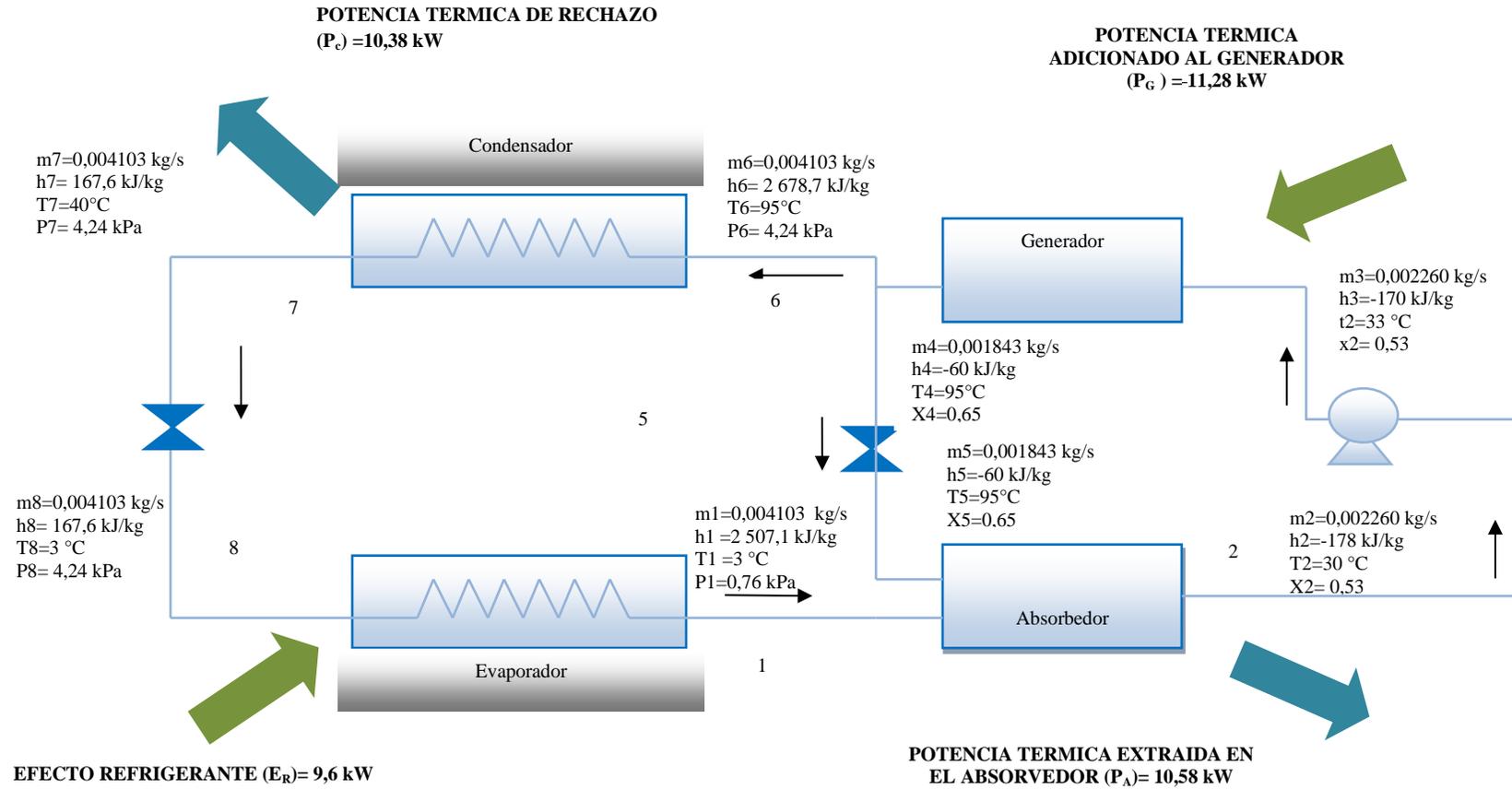
$$E_R + P_G = P_A + P_C$$

$$9,6 + 11,28 = 10,58 + 10,30$$

$$20,88 = 20,88$$

Figura 18

Distribución de parámetros de cálculo en Sistema de Absorción



Nota. Elaboración propia

La Potencia térmica suministrada al generador  $V_{SA}$  se determinó según la ecuación 7:

$$V_{SA} = \frac{10,58}{0,9} = 11,76 \text{ kW}$$

#### **4.1.3 Cuantificación de la carga térmica total requerida.**

Se determino seguidamente la carga térmica o demanda térmica total requerida por el hospital, según la ecuación 8 y aplicando 3% de pérdidas de carga (según informe de Practicas de Beltran,M. (2016))

$$\dot{V}_t = 81,91 + 11,76 = 93,67 \text{ kW} = 96,48 \text{ kW}$$

#### **4.2 Caracterización del grupo electrógeno para la cobertura de la máxima demanda eléctrica y térmica.**

Se realizo análisis de cogeneración con 3 marcas de grupos electrógenos de modo continuo o prime, ya que operaran en condición de suministro principal de energía eléctrica, disponibles en el mercado peruano.

Se encontraron 4 modelos (sus marcas se obvian en el presente informe, sus detalles técnicos se muestran en los anexos)

Modelo 1: SG350

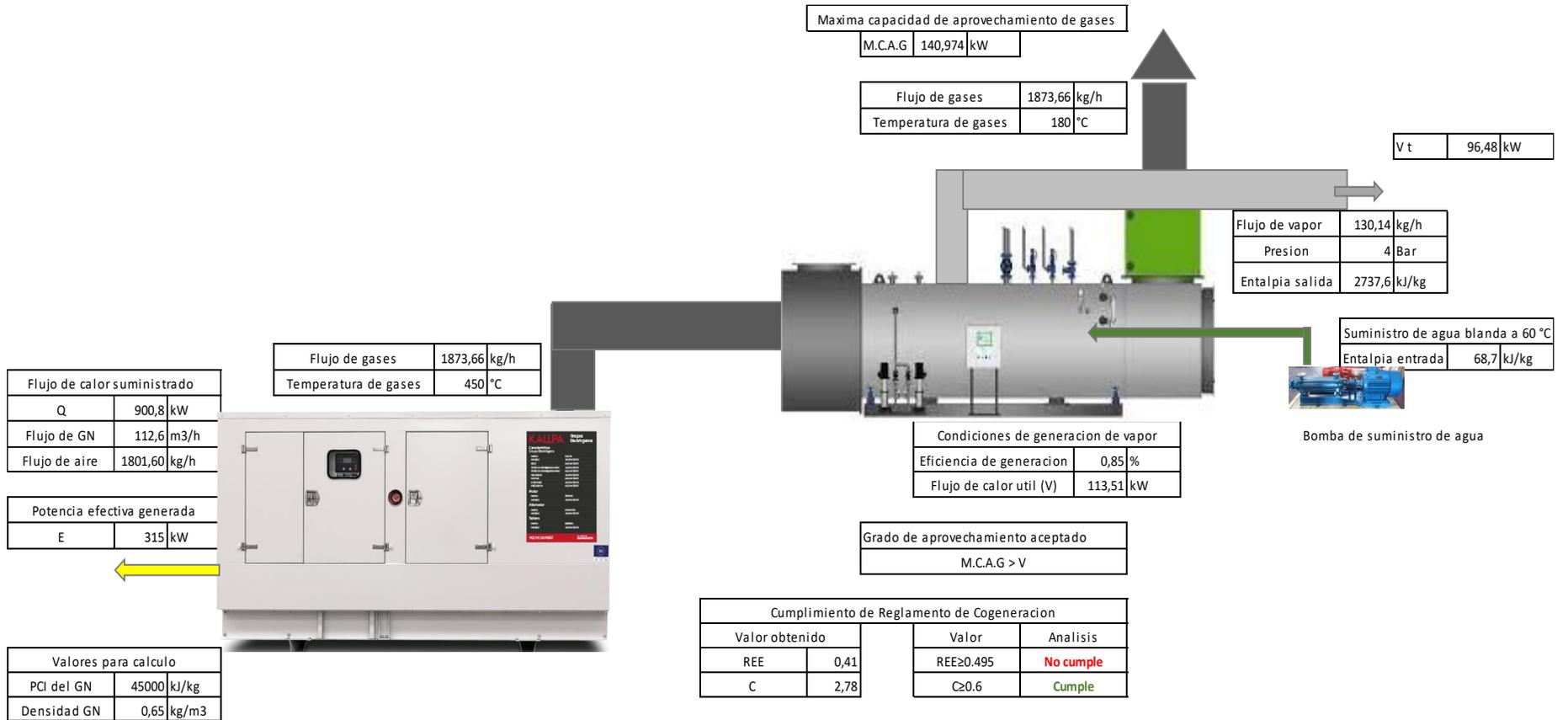
Modelo 2: SG750

Modelo 3: G3412

Modelo 4: G3516

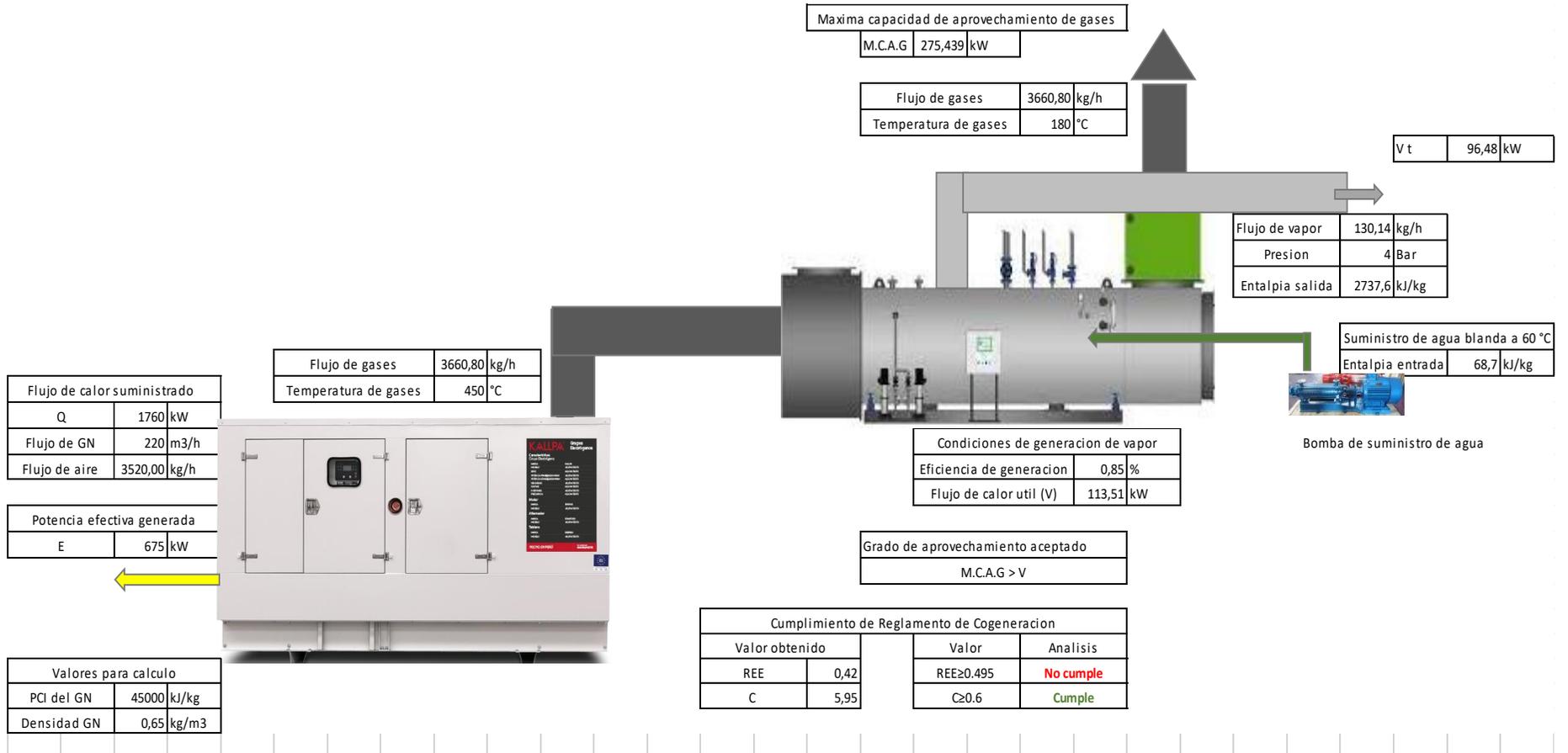
Seguidamente se realiza una caracterización de su operatividad para el cumplimiento de la cobertura de la demanda térmica y eléctrica requerida y cumplimiento de las restricciones del Reglamento de Cogeneración para inyección a la red eléctrica como cogenerador calificado.

Figura 19  
 Trigeneración con Modelo 1 SG350



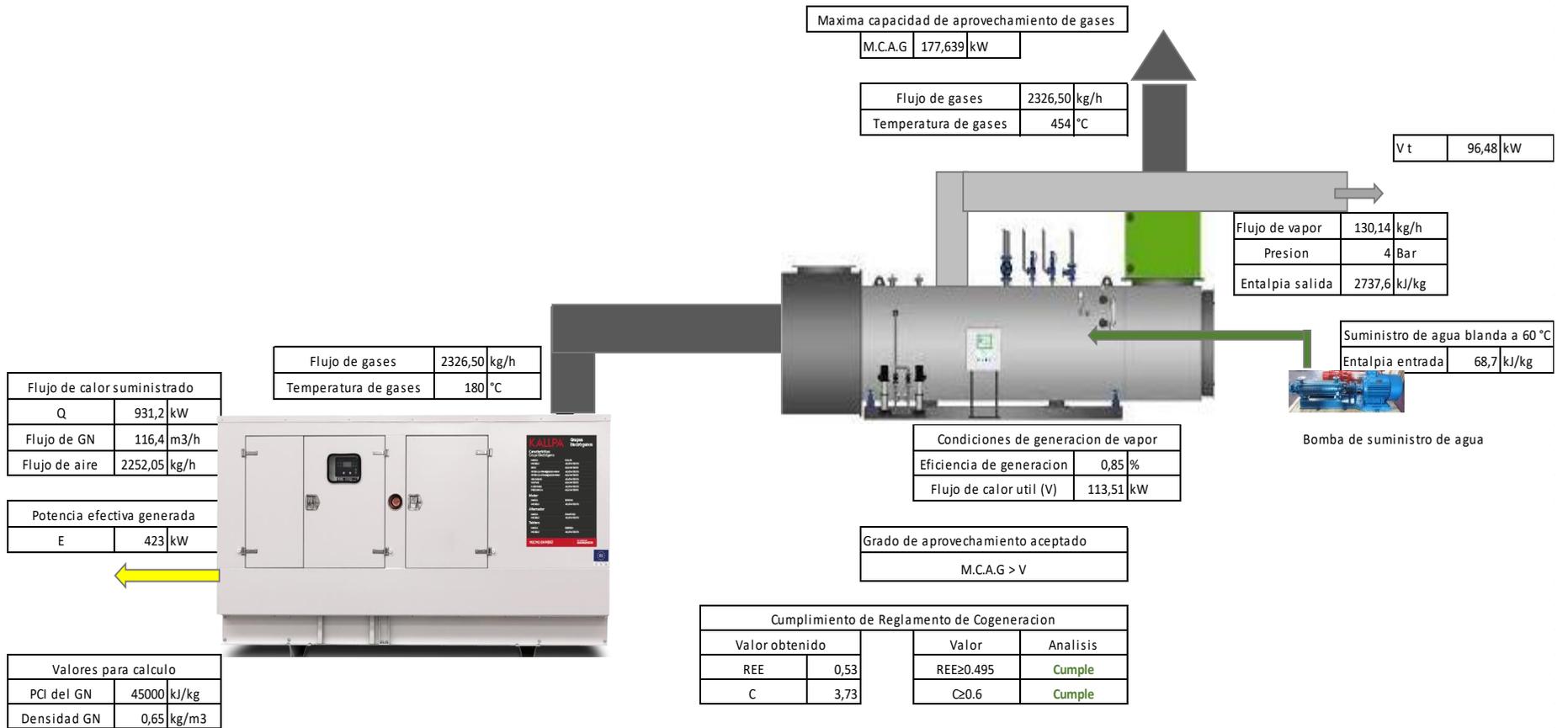
Nota. Elaboración propia.

Figura 20  
 Trigeneración con Modelo 2 SG750



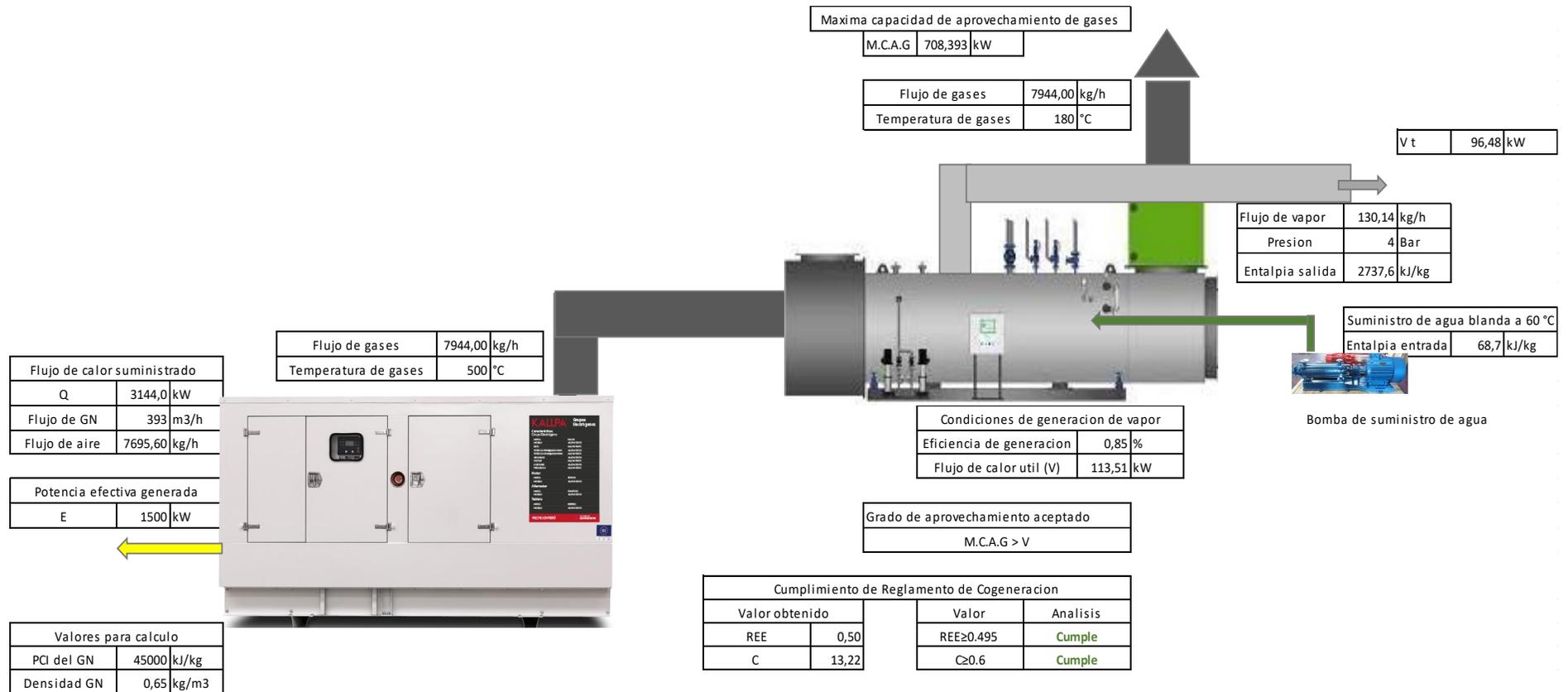
Nota. Elaboración propia

Figura 21  
 Trigeneración con Modelo 3 G3412



Nota. Elaboración propia.

Figura 22  
 Trigeneración con Modelo 4 G3516



Nota. Elaboración propia

### 4.3 Selección de la mejor alternativa de cogeneración calificada.

Seguidamente se presenta una matriz de toma de decisión para la alternativa de trigeneración.

Tabla 3

*Matriz de selección de alternativa*

<b>Criterio</b>	<b>Modelo 1 SG350</b>	<b>Modelo 2 SG750</b>	<b>Modelo 3 G3412</b>	<b>Modelo 4 G3516</b>
Abastece máxima demanda eléctrica	si	si	si	si
Exceso de generación eléctrica	315-110= 205 kW	675-110=565 kW	423-110=313 kW	1500-110= 1390 kW
% de exceso de generación eléctrica	65%	83,7%	74%	92,7%
Abastece máxima demanda térmica	si	si	si	si
Máximo aprovechamiento de gases	140,97 kW	275,43 kW	177,63 kW	708,39 kW
Porcentaje de aprovechamiento térmico	80,52%	41,21%	63,90%	16,02%
Cumple REE	No	No	Si	Si
Cumple con C	Si	Si	Si	Si
El modelo incluye recuperación de agua caliente del sistema de refrigeración	No, porque se abastece con lo recuperado para cubrir la demanda térmica requerida	No, porque se abastece con lo recuperado para cubrir la demanda térmica requerida	No, porque se abastece con lo recuperado para cubrir la demanda térmica requerida	No, porque se abastece con lo recuperado para cubrir la demanda térmica requerida
Condición final	Abastece con la demanda térmica y eléctrica requerida, pero con cumple con el REE mínimo. No se selecciona	Abastece con la demanda térmica y eléctrica requerida, pero con cumple con el REE mínimo. No se selecciona	Abastece con la demanda térmica y eléctrica requerida, cumple con el REE y C mínimo. Se selecciona	Abastece con la demanda térmica y eléctrica requerida con un alto grado de excedencia, cumple con el REE y C mínimo. No se selecciona

*Nota.* Elaboración propia

#### 4.4 Estimación de los beneficios de la cogeneración.

Para la estimación de los beneficios de la trigeneración de energía, se realizó el cálculo para el mes de Julio 2022, periodo en el cual se realizó el cálculo de la máxima demanda eléctrica y térmica.

##### a. Consideraciones para la Facturación eléctrica mensual.

Tarifa MT3- Calificación en punta. Con lo cual la metodología de cálculo para una tarifa MT3 se toma como referencia el Módulo Auditorías Energéticas I Unidad del Curso de Pre-Grado de Auditorías Energéticas de la Escuela Profesional de Ingeniería en Energía. Precios unitarios obtenidos de la página de concesión de Hidrandina Chimbote para el mes de julio-2022.

<https://www.osinergmin.gob.pe/Tarifas/Electricidad/PliegoTarifario?Id=20000>

Tabla 4

#### *Determinación de la facturación eléctrica mensual*

Consumos JULIO 2022 ENERGIA ELECTRICA				
EAT (Energía Activa total) kWh				28 081
EAHP (Energía Activa hora fuera de punta) kWh				24 521
EAHP (Energía Activa hora punta) kWh				3 560
MD HP (Máxima demanda Horas Punta) kW				80
MDHFP (Máxima Demanda Horas Fuera de Punta kW)				110
Nº días	31	Horas Punta	120	
		mes		
Grado de calificación		0,26969697		
Cargo	Valor	Unidad	Precio Unitario	Sub Total (S/)
EA HFP	24521,0	kWh	0,2571	6 304,35
EA HP	3560,0	kWh	0,3085	1 098,26
ER fact.	6805,7	kVARh	0,0049	33,35
PAG	110	kW	36,1	3 971,00
PARD	110	kW	14,13	1 554,30
Subtotal				6 656,91
Facturación mensual energía eléctrica				7 855,15

*Nota.* Elaboración propia.

##### b. Consideraciones para la Facturación por combustible mensual.

El combustible es suministrado vía procesos de licitaciones anuales efectuadas a través de la Sub-Región de Salud Pacifico.

Se ha tomado como máxima demanda de generación de vapor saturado 135 kg/h, según lo detallado en el ítem 3.1 para los equipos consumidores de vapor.

Numero de horas de operación diaria: 9 horas.

Horas al mes de operación: 31 días. (Al ser el servicio de salud continuo)

El costo unitario del petróleo para el mes de julio 2022 es de 18,7 Soles/galón.

Tabla 5

*Determinación de la facturación por combustible mensual*

Consumos JULIO 2022 PETROLEO BD5		
Horas día/mes	31	día/mes
Producción vapor /día	1 215	kg/dio
Entalpia vapor saturado (6 bar)	2 755,5	kJ/kg
Entalpia liquido comprimido (60 °C y 15 bar)	68,7	kJ/kg
Poder Calorífico inferior	41 214,8	kJ/kg
Densidad del BD5	3,28	kg/galón
Eficiencia del caldero	84%	
Flujo masico de Petróleo BD5	28,75	galón/día
Flujo masico de Petróleo BD5	862,44	galón/mes
Precio del Petróleo BD5 (incluido IGV)	18,7	S/, /galón
Facturación mensual Petróleo BD5	16 127,54	S/, /mes

Nota. Elaboración propia

c. Facturación mensual por insumos energéticos.

Tomando como referencia paridad cambiaria para el mes de julio 2022 de la SBS se tiene una tasa de cambio de 1 U\$ = 3,84 Soles

[https://www.sbs.gob.pe/app/pp/sistip\\_portal/paginas/publicacion/tipocambiopromedio.aspx](https://www.sbs.gob.pe/app/pp/sistip_portal/paginas/publicacion/tipocambiopromedio.aspx)

Se presenta la facturación mensual por consumo de insumos energéticos.

Facturación mensual total	23 982,69	S/. /mes
Facturación mensual total	6 245,49	U\$/mes

d. Cálculos económicos por optar por la trigeneración de Energía en una entidad de salud de servicio público del estado.

Consideraciones:

La operación de la unidad de trigeneración se considera en 24 horas diarias y los 31 días del mes de julio 2022.

El excedente de Energía eléctrica se obtiene restando el valor de la máxima energía generada menos la energía requerida para el mes en el Hospital La Caleta.

El precio del gas natural como cogenerador ha sido tomado como referencia el precio unitario de compra de la central de cogeneración calificada Oquendo. El valor se obtenido de la fuente Informe de los Precios en Barra mayo 2022 a abril 2023 de OSINERGMIN. Del mismo modo se han tomado los precios unitarios de venta de energía y potencia eléctrica asociados a la Barra S.A Chimbote 500kV. La fuente es:

<https://www.osinergmin.gob.pe/Resoluciones/pdf/2022/Informe-Tecnico-188-2022-GRT.pdf>

Se ha tomado los factores de conversión de 28 m<sup>3</sup>/MMBtu.

Para el cálculo de las ventas de energía se ha tomado el valor del excedente de energía eléctrica y el valor de la potencia generada inyectada.

Tabla N°6

*Determinación de los beneficios económicos por trigeneración de energía*

ANALISIS DEL SISTEMA DE COGENERACION		
Potencia generada total	423	kW
Potencia generada inyectada	313	kW
Energía máxima generada	314 712	kWh
Energía requerida HLC-MINSA	28 081	kWh
Excedente energía eléctrica	286 631	kWh
COSTO DE COGENERACION		
Precio de GN Cogenerador	3,45	U\$/MMBtu
Costo tal de generación	10 326,34	U\$/mes
INGRESOS POR VENTA DE ENERGIA		
Precio de la energía	0,2062	S/,kWh
Ventas de energía	16 899	U\$/mes
INGRESOS POR VENTAS DE POTENCIA		
Precio de la potencia	20,68	S/,kW mes
Ventas de potencia	1 685,6	U\$/mes
INGRESOS POR COGENERACION		
Ventas totales	18 585,0	U\$/mes
INGRESOS POR COGENERACION	8 258,7	U\$/mes

*Nota.* Elaboración propia.

Se tiene un ahorro mensual de 6 245,9 U\$ al dejar de comprar los insumos energéticos actuales (energía eléctrica y combustible petróleo BD5)

Las ventas de energía a la red de energía y potencia mensual suman un total de 18 585 U\$ , de los cuales la compra del gas natural corresponde un gasto de 10 326,34 U\$ (que corresponde al 55,56% de las ventas realizadas , con lo cual los ingresos por cogenerador calificado son de 8 258,7 U\$ (lo que representa el 44,44 % de lo comercializado)

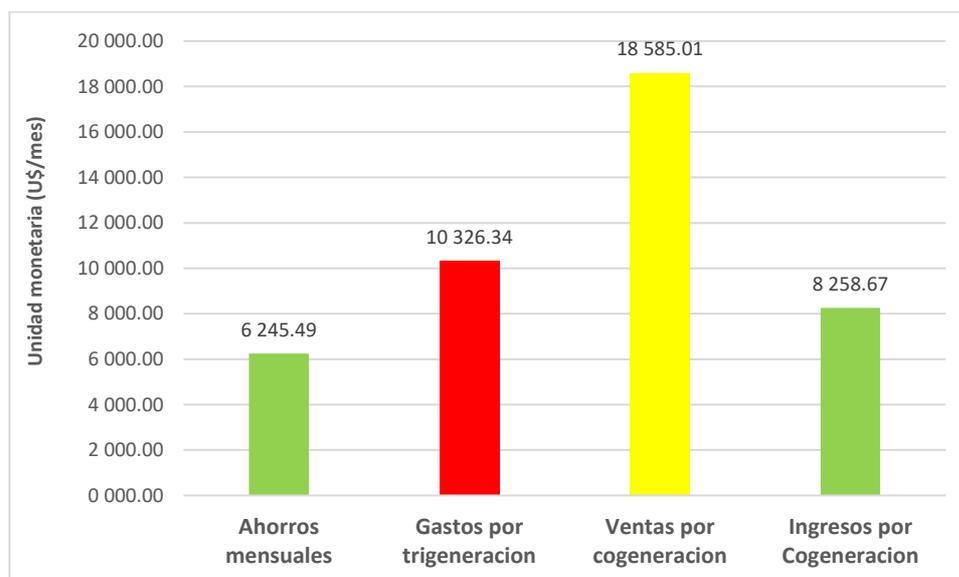
Finalmente, el beneficio económico para el centro de salud es:

**Beneficios economicos = Ahorros + Ingresos como cogenerador**

**Beneficios economicos mensuales = 14 504,60 U\$**

Figura 23

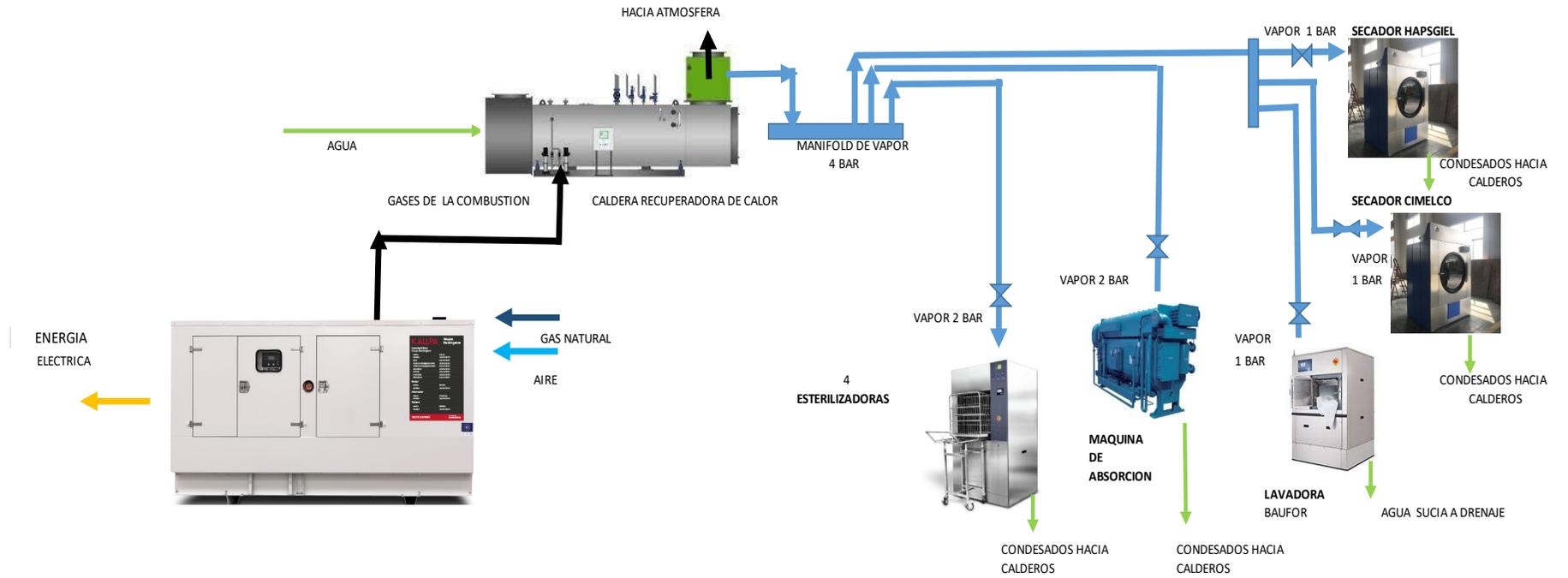
*Ingresos y egresos de la tecnología de trigeneración propuesta*



*Nota.* Elaboración propia

Se presenta el esquema de la alternativa finalmente propuesta:

Figura 24  
Propuesta final de sistema de trigeneración



Nota. Elaboración propia

#### **4.5 Discusión de resultados.**

Aguilar, en su tesis de cogeneración para el Hospital Eleazar Guzmán Barrón aplico para la generación de 100 kg/h de ACS y vapor saturado a baja presión seleccionándose un grupo electrógeno de 786 kW con gas natural para la cobertura de la máxima demanda eléctrica de 185 kW, generándose el total de la demanda térmica y eléctrica a través de una central de cogeneración calificada. La contribución del presente informe demuestra que en el sector salud al existir una demanda de conservación de vacunas y en algunos casos climatización, se ha propuesto una planta de trigeneración de 433 kW con gas natural para satisfacer una demanda eléctrica de 110 kW y un flujo de vapor de 135 kg/h de vapor saturado equivalente a 113,51 kW térmicos que permite cubrir con la demanda térmica del hospital y del sistema de refrigeración por absorción de los conservadores de vacunas. Y de manera similar al informe de Aguilar se consigue calificar como cogenerador con un grupo electrógeno del tipo continuo de menor capacidad.

Del mismo modo Arias y Espinoza dimensionaron una planta de trigeneración de energía para la Empresa Hayduk S.A, con gas natural proponiendo una central con turbina de gas de 62 MW obteniendo valores de Potencia térmica útil de 57,28 MW, los cuales son utilizados en la Planta de harina, Congelados y conservas, alcanzando valores de Relación de Cogeneración y el Rendimiento Eléctrico Efectivo de 1,047 y 0,556 respectivamente, inyectando 56,8 MW como excedente de Potencia efectiva al SEIN y por los ahorros por facturación de Petróleo R500 y Energía Eléctrica dejados de consumir. Se demuestra en el presente informe que la trigeneración no solo se puede implementar en el sector productivo y de alta demanda de energía, sino también en el sector público de prestación de salud de baja demanda de energía, esto a través de un grupo electrógeno de 433 kW con gas natural para cubrir la totalidad de la demanda térmica y eléctrica requerida. En este caso se obtuvieron valores de Relación de Cogeneración y el Rendimiento Eléctrico Efectivo con los valores de 3,73 y 0,53 respectivamente, inyectando 313 kW como excedente de Potencia efectiva a la red y por los ahorros por facturación de Petróleo BD5 y Energía Eléctrica dejados de consumir.

Se concuerda con Ascencio y Carlos, en el cual mencionan que las necesidades energéticas de los hospitales pueden ser satisfechas aplicando la tecnología de la

trigeneración a través de grupos electrógenos debido a la alta relación entre la demanda eléctrica con la demanda térmica , pero aunque no realizo cuantificación para aseverar sus resultados, en el presente informe se tiene una relación de Demanda Eléctrica/Demanda térmica de  $110/113,51 = 0,96$  con lo cual se obtiene un resultado distinto al primer informe y aun así el valor de la Relación de Cogeneración obtenido es de 3,73. En nuestro caso se aprovecharon los gases de la combustión para la generación de vapor saturado a baja presión dándosele un valor agregado a la energía remanente perdida.

La implementación de la trigeneración de energía es aplicada también países tropicales como Colombia, tal como lo demostró Ballestas, en su propuesta para el sector industrial implementando una turbina de gas y un HRSG en el cual se recuperan los gases de la combustión salientes de la turbina para generar vapor saturado a baja presión, implementando además un sistema de refrigeración por absorción con bromuro de litio para generación de agua helada y acondicionamiento del aire, generando 10 MW de potencia eléctrica efectiva. En nuestro caso se implemento un GVRC (generador de vapor recuperador de calor que aprovecha los gases de la combustión salientes del múltiple de escape de un motor de combustión interna conformante de un grupo electrógeno de 433 kW de potencia efectiva y un sistema de refrigeración por absorción para conservación de vacunas.

Campos y Novillan en su propuesta de instalación de una planta de trigeneración para cubrir los requerimientos de sistemas a  $-12^{\circ}\text{C}$  y  $-4^{\circ}\text{C}$  cubriendo el 100% de la demanda térmica y eléctrica y opta por la instalación de un sistema de absorción con amoníaco, para una empresa refresquera mediante 3 grupos electrógenos de mediana capacidad sumando 4 MW, debido a que es económica la operación para mayores demandas eléctricas. En nuestro caso como la demanda eléctrica es baja (110 kW en horas fuera de punta) solo se optó por un grupo electrógeno único de 433 kW.

Crispín y Haro, diseñaron un sistema de Trigeneración en la empresa pesquera Austral Group, que integra una Central Termoeléctrica con turbina a gas abastecida mediante gasoducto virtual con el sistema de refrigeración por absorción con amoníaco, obteniéndose un ahorro de energía primaria del 66.76 %. Así mismo se cumple con los criterios de calificación a través del Reglamento de Cogeneración N° 037-2006, mediante

los indicadores de la Relación de Cogeneración y el rendimiento Eléctrico Efectivo, con lo cual permite inyectar los excedentes de energía y potencia al SEIN. De manera similar a la anterior propuesta la figura legal de inyectar los excedentes de energía eléctrica se fundamenta a que técnicamente los sistemas de refrigeración están compuestos por una planta de cogeneración y un sistema de refrigeración por absorción.

Fernández, propone para un hospital instalar un grupo electrógeno de 636 kW y una caldera de recuperación de los gases de escape para la producción de vapor y un intercambiador vapor-agua para producir agua caliente en reemplazo de 02 calderas que generan vapor saturado y tres calderas de agua caliente sanitaria, utilizándose gasóleo C como combustible con suministro de energía eléctrica de la red externa en la ciudad de Cantabria. Afirma que se un incomparable grado de aprovechamiento de la energía del combustible, además de que los combustibles que normalmente se utilizan son menos contaminantes que los utilizados en sistemas convencionales. En el presente informe se reemplaza el suministro convencional de energía eléctrica suministrado por la Empresa Distribuidora de la zona y a 02 calderas de pequeña capacidad que operan con petróleo BD5. Se alcanza un elevado grado de aprovechamiento de la energía así tenemos que el porcentaje de excedencia de energía eléctrica inyectada a la red externa es de 74%, mientras que el grado de aprovechamiento de la energía remanente disponible de los gases de la combustión es de 63,9%.

Guerra, propone implementar un sistema de cogeneración con motor de combustión interna para el aprovechamiento del biogás generado de forma centralizada, con una potencia eléctrica generada de 629 kW, acoplado a una caldera de recuperación para el aprovechamiento de la temperatura de los gases de escape de los motores a biogás, se genera agua caliente sanitaria 90 °C para los procesos industriales. El ahorro económico por generar energía eléctrica y térmica con una sola fuente de energiza es de 10%. En el presente informe se alcanzan altos beneficios económicos tal como un ahorro mensual de 6 245,9 U\$ al dejar de comprar los insumos energéticos actuales (energía eléctrica y combustible petróleo BD5) e ingresos por venta de energía como cogenerador de calificado de 8 258,7 U\$ (lo que representa el 44,44 % de lo comercializado).

Heredia, propone para el Hospital ESSALUD de Chimbote un sistema de trigeneración para reemplazar la generación de vapor a través de calderos y temperaturas bajas para un sistema de climatización, alcanzando valores de calificación de Rendimiento Eléctrico Efectivo de 0,67 y una relación Electricidad – Calor útil de 0,88, A diferencia de la presente tesis en la cual se alcanza valores de 0,53 y 3,73 respectivamente.

## **CONCLUSIONES**

- Se realizó un balance de energía en el Hospital la Caleta de Chimbote cuantificándose un valor de para cuantificar el valor de la potencia térmica útil necesaria de 81,91 kW para los centros de consumo de vapor y 11,76 kW como requerimiento de conservación. La carga térmica útil, requerida incluyendo pérdidas en el transporte y la generación de vapor saturado es de 113,51 kW. Del mismo modo la máxima demanda eléctrica es de 110 kW en horas fuera de punta.
- Se dimensiono la el sistema de trigeneracion de energía a través de 4 modelos teniendo como base grupos electrógenos con gas natural comerciables en el Perú, seleccionándose el Modelo 3 G3412 de 433 kW de potencia eléctrica efectiva, del cual se aprovechan el flujo de calor sensible de los gases remanentes de la combustión a 500 °C, de los cuales se aprovechan el 63,9% para la cobertura de la demanda térmica de vapor y del sistema de refrigeración por absorción, así como el grado de aprovechamiento de la máxima es de 74%.
- Se determinaron los beneficios económicos, obteniéndose valores de un ahorro mensual de 6 245,9 U\$ al dejar de comprar los insumos energéticos actuales (energía eléctrica y combustible petróleo BD5) e ingresos por venta de energía como cogenerador de calificado de 8 258,7 U\$ (lo que representa el 44,44 % de lo comercializado).
- Se concluye que mediante la propuesta de implementación de un sistema de trigeneracion se cubre con el 100% de la demanda térmica y eléctrica del hospital, dando conformidad a la hipótesis planteada.

## **RECOMENDACIONES**

- Se opto por un grupo electrógeno de 433 kW en vez de un grupo electrógeno de 1500 kW, debido a que el interés del presente informe era demostrar que mediante un sistema de Trigeneración se puede cubrir con el 100 % de las demandas térmica y eléctrica del hospital. Aunque la cogeneración guarda relación con la generación distribuida (para generación de energía eléctrica) y los distritos térmicos que son tecnologías de microgeneracion independientes cada una de ellas, la cogeneración cumple también el rol de generador distribuido, por lo tanto, es necesario su promoción y difusión para la descentralización de la energía.
- Se recomienda promover la tecnología de la trigeneracion en el sector industrial, comercial y de servicios, no necesariamente para sistemas a baja temperatura (menores a 0°C), sino también en sistemas de aire acondicionado y generación de agua fría en reemplazo de los sistemas de refrigeración por compresión de vapor por sistemas de refrigeración por absorción que aprovechan los flujos de calor remanente para darle valor agregado.
- El rol de la academia juega un papel muy importante para la diversificación de la energía y su descentralización, lo cual es un aporte para la transicion energética que el país tiene como meta realizar.

### **Referencias bibliográficas.**

**Tesis.**

- Aguilar, R. (2022). *Cogeneración de energía con grupos electrógenos para la generación de agua caliente sanitaria*. (tesis de grado) Escuela Profesional de Ingeniería en Energía, Universidad Nacional del Santa. Perú.
- Aguilar, I. Quintanilla, D. Ruiz, N. & Tinetti, O. (2012). *Propuesta de diseño de un sistema de refrigeración por absorción para mejorar la eficiencia de operación de planta en una central geotérmica*. (tesis de maestría). Universidad del Salvador.
- Arias, E. y Espinoza, L. (2013). *Estudio de los parámetros de dimensionamiento de una planta de trigeneración con gas natural para el autoabastecimiento de energía. Caso empresa Hayduk S.A de un sistema de precalentamiento de aire para el ahorro de energía en el horno de calentamiento de palanquillas de la empresa SIDERPERU S.A*. (tesis de grado) Escuela Profesional de Ingeniería en Energía, Universidad Nacional del Santa. Perú.
- Ascencio, V. & Carlos, L. (2017). *Impacto y evaluación de la trigeneración en el dimensionamiento de un sistema de cogeneración para hospitales*. (tesis de grado). Universidad Nacional de Ingeniería. Perú.
- Ballestas, S. (2012), *Trigeneración industrial-cálculos termodinámicos y económicos caso Abocol Cartagena*, (tesis de grado) Programa de ingeniería Mecánica en la Universidad Tecnológica de Bolívar. Colombia.
- Bocanegra, C. & Zubiate, C. (2018), *Rango de potencia y tipo de fallas en grupos electrógenos instalados en operaciones industriales*, (tesis de grado) Escuela de Ingeniería Industrial. Universidad Privada del Norte de Trujillo, Perú.
- Campos, E. & Novillan, L. (2019) *Propuesta de sistema de trigeneración de energía para la optimización y aprovechamiento energético en la Refresquería Pascual*. (tesis de grado), Instituto Superior Tecnológico. México.
- Cárcamo, E. Rivas, G. & Valle, M. (2016). *Diseño y construcción de un banco de refrigeración por absorción para uso didáctico, utilizando agua y sales de bromuro de litio*. (tesis de grado). Universidad de El Salvador.

- Chango, A. (2017). *Diagnostico térmico del sistema de generación y distribución de vapor en el área de lavandería y esterilización del “hospital general provincial Latacunga*. (tesis de maestría) Universidad Técnica de Ambato. Ecuador.
- Chunga, E. & Cam, L. (2016), *Influencia del incremento de la potencia efectiva en cogeneración de energía de la empresa Cartavio S.A.A-Perú*, (tesis de grado) Escuela Profesional de Ingeniería en Energía, Universidad Nacional del Santa. Perú.
- Cortes, F. (2007), *Diseño de un enfriador con el sistema de absorción agua/bromuro de litio operado con energía solar*. (tesis doctoral). Instituto tecnológico de Monterrey. México.
- Crispín, R. & Haro, J. (2015), *Ahorro de energía primaria mediante el diseño de un sistema de trigeneracion en la empresa Austral Group*, (tesis de grado) Escuela Profesional de Ingeniería en Energía, Universidad Nacional del Santa. Perú.
- Fernández, T. (2014). *Planta de cogeneración de un motor alternativo de combustión interna para un hospital*. (tesis de grado). Universidad de Cantabria. España.
- Godos, R. (2011). *Ahorro de energía en la empresa Corporación Lindley-Planta Callao a través del diseño de una central de cogeneración con gas natural*. (tesis de grado) Escuela Profesional de Ingeniería en Energía, Universidad Nacional del Santa. Perú.
- Gómez, I. (2018), *Análisis termodinámico de un ciclo de refrigeración por absorción de simple efecto combinado con un tubo vórtex*. (tesis de maestría), Universidad del Norte. Colombia.
- Gonzales, I. (2014), *Análisis exergético del sistema de refrigeración por absorción regenerativo*. (tesis de grado). Universidad Autónoma de México.

- Guerra, J. (2017), *Uso de los ciclos de cogeneración con MCI para el aprovechamiento del biogás generado de forma centralizada*, Universidad Central Santa María de Abreu, Cuba.
- Gutiérrez, J. (2015), *Viabilidad de un sistema de trigeneración aplicado a una fábrica de colchas*, (tesis de maestría), Universidad Nacional Autónoma de México.
- Guzmán, A. (2003), *Sistema de trigeneración aplicado a un supermercado*, (tesis de grado). Universidad Técnico Federico Santa María de España.
- Heredia, W. (2020), *Efecto de la implementación de un proceso de Trigeneración sobre el consumo de energía primaria en un hospital*. (tesis de grado) Escuela Profesional de Ingeniería en Energía, Universidad Nacional del Santa. Perú.
- José, J. (2016), *Modelación de un sistema de refrigeración por absorción para la producción de hielo*, (tesis de maestría), Instituto Politécnico Nacional de México.
- López, M. (2011). *Hospitales eficientes: una revisión del consumo energético óptimo*. (tesis doctoral). Universidad de Salamanca. España.
- Mendoza, M. (2017), *Efecto del número de arranques anuales en el incremento del costo de mantenimiento de una central térmica a gas de 25 MW*. Escuela Profesional de Ingeniería en Energía, Universidad Nacional del Santa. Perú.
- Morales, J. (2013), *la cogeneración en el sector industrial en México: obstáculos y perspectivas*, (tesis de maestría) Universidad Autónoma de México.
- More, M. (2020) *Evaluación de cadena de frío para vacunas en establecimientos de salud, Región Tumbes – 2019*. Tesis para optar el grado académico de Maestro en Ciencias de la Salud con mención en Gerencia de los Servicios de Salud. Universidad de Tumbes. Perú.

Rodas, A. (2021). *Evaluación del manejo de cadena de frío en las inmunizaciones microrred de salud alto amazonas Utcubamba, 2021*. Tesis para optar título de Enfermería. Universidad Politécnica Amazónica. Amazonas. Perú.

Rojas, L. (2021), *Relación entre la capacidad de cogeneración y la cobertura de la demanda en empresa Cantarana S.A.* (tesis de grado) Escuela Profesional de Ingeniería en Energía, Universidad Nacional del Santa. Perú.

Sandoval, L. (2021), *Potencia de grupos electrógenos para la cobertura de demanda de energía en S.E Sechura.* (tesis de grado). Universidad Nacional del Santa. Perú.

Steu, M. (2010), *Refrigeración por absorción con  $nh_3/h_2o$ /hidróxidos*, (tesis doctoral). Universidad de Rovira. España.

Toapanta, L. (2018). *Diseño y construcción de un sistema de enfriamiento por absorción de calor con una capacidad de 1320 j/min, con la utilización de un colector térmico.* (tesis de grado), Universidad Politécnica Salesiana de Quito. Ecuador.

Torres, M. (2018), *Cogeneración y Trigeneración, escala industrial*, (tesis de grado) Universidad Católica de Cuenca, Colombia.

Yábar, Y. (2016). *Reducción de costos de energía y mitigación de gases de efecto invernadero en una planta industrial mediante la cogeneración con gas natural.* (tesis de grado). Ingeniero Industrial. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Perú.

### **Textos.**

Beltrán, M. (2017). *Informe de prácticas en la zona de vapor del Hospital La Caleta de Chimbote.* 60 pp.

Bermúdez, V. (2000). *Tecnología Energética.* Ed. Universidad Politécnica de Valencia. 250 pp. ISBN 9788477218685

Cenzano, J. Madrid, A. & Castillo, C. (2020). *Cogeneración, trigeneración y microcogeneración*. AMV Ediciones. España. 275 p. ISBN 9788412095456

Cengel, Y. & Boles, M. (2017) *Termodinámica*. Editorial Mc Graw Hill. 7 edición. México. 1041 p. ISBN 978-0-07-352932-5

Guevara, R. (2021). *Manual de Auditorias Energéticas I Unidad*. Universidad Nacional del Santa. Perú. 90 p.

Guevara, R. (2019). *Plantas consumidoras de energía*. Universidad Nacional del Santa. Perú. 85 p.

Incropera, F. & De Witt, D. (2014). *Procesos de transferencia de calor*. Editorial Prentice Hill. 6 edición. 886 p. ISBN 9789701701706.

### **Linkografía.**

Abreu, H., Gonzales, M., Rico, O. & Morales, M. *Evaluación de esquemas de cogeneración de energía a partir de bagazo de caña de azúcar*. Revista Scielo vol.43 no.1 Santa Clara ene.-mar. 2016. ISSN 2223-4861. [Consulta: 11 de marzo del 2022]. Disponible en:  
[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2223-48612016000100010](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612016000100010)

Ahorreluz (2017) *¿Qué es la trigeneración?* Blog de Empresa Ahorreluz. España. . [Consulta: 3 de junio del 2022]. Disponible en:  
<https://www.ahorreluz.es/blog/que-es-la-trigeneracion-de-energia/>

Arteaga, A., Brito, A. & Canto, M. (2016) *Selección del esquema de cogeneración para una industria de pescado enlatado. Caso Ecuador*, Revista en Investigaciones de Energía, Ambiente y Tecnología RIEMET. ISSN 2588-0721. Ecuador. [Consulta: 12 de abril del 2022]. Disponible en:  
<https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Riemat/article/view/926>

ATTSU (2022). *Calderas recuperativas de calor*. ATSU. Colombia. [Consulta: 17 de junio del 2022]. Disponible en:

<https://www.attsu.com/es/productos/calderas-de-vapor/gases-de-escape-cogeneracion/modelo-bv.html>

Bowman (2022). *Recuperando el calor residual de un grupo electrógeno a motor*. Block de empresa Bowman. España. [Consulta: 01 de agosto del 2022]. Disponible en:

<https://ej-bowman.com/es/centro-de-conocimiento/recovering-waste-heat-from-an-engine-powered-gen-set/>

Gailfuß, M. (2021). *Principio de la cogeneración*. BHKW-Infozentrum Rastatt. México. [Consulta: 01 de junio del 2022]. Disponible en:

<https://www.bhkw-infozentrum.de/es/principio-de-la-cogeneracion.html>

Hallack, M. (2020). *Retos del sector de energía con la crisis del Coronavirus*. Revista *Energía para el futuro*, México. [Consulta: 7 de agosto del 2022]. Disponible en: <https://blogs.iadb.org/energia/es/retos-del-sector-de-energia-con-la-crisis-del-coronavirus/>

Fernández, M. (2011). *Estudio de viabilidad técnico económica de una planta de Trigeneración en el sector lácteo*. España. [Consulta: 10 de mayo del 2022]. Disponible en:

[http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/11745/PFC\\_Maria\\_Fernandez\\_Martin.pdf?sequence=1](http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/11745/PFC_Maria_Fernandez_Martin.pdf?sequence=1)

KIA Motors. (2020) *¿Cómo funciona el sistema de lubricación de un auto y para qué sirve?* KIA Motors. España. [Consulta: 27 de mayo del 2022]. Disponible en:

<https://www.kia.com/pe/util/news/como-funciona-sistema-lubricacion-autos.html>

Organización Panamericana de Salud. (2021). *Cadena de frío. Página web de la Organización Panamericana de la salud*. México. [Consulta: 27 de julio del 2022]. Disponible en:

<https://www.paho.org/es/inmunizaci%C3%B3n/cadena-frio>

Osinermin (2022). *Informe de determinación de precios en barra 2022-2023. GART-OSINERMIN*. Perú. [Consulta: 27 de octubre del 2022]. Disponible en:

<https://www.osinermin.gob.pe/Resoluciones/pdf/2022/Informe-Tecnico-188-2022-GRT.pdf>

Osinermin (2022). *Tarifas Eléctricas. Portal Web. OSINERMIN*. Perú. [Consulta: 20 de octubre del 2022]. Disponible en:

<https://www.osinermin.gob.pe/Tarifas/Electricidad/PliegoTarifario?Id=20000>

Padros (2018). *Refrigeración por absorción. ABSORSYSTEM*. España. [Consulta: 10 de mayo del 2022]. Disponible en:

[https://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2013-07-09\\_10-12-38Refrigeracion-solar-08\\_%20F-Padros.pdf](https://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2013-07-09_10-12-38Refrigeracion-solar-08_%20F-Padros.pdf)

Rubio, C. Belman, J. Galván, S. Pacheco, J. & Medina, J. (2010). *Modelado energético de motores de combustión interna para aplicaciones de cogeneración*. Memorias del XVI congreso internacional anual de la SOMIM 22 al 24 de septiembre, 2010 Monterrey, Nuevo León, México. [Consulta: 10 de agosto del 2022]. Disponible en:

[http://somim.org.mx/memorias/memorias2010/A5/A5\\_218.pdf](http://somim.org.mx/memorias/memorias2010/A5/A5_218.pdf)

San Martín, J. Zamora, I. Aperribay, V. & García, J. (2018). *Tecnologías para Microtrigeneración Distribuida. Energy Storage Technology*. España. [Consulta: 10 de julio del 2022]. Disponible en:

<http://www.sc.ehu.es/sbweb/energias-renovables/temas/trigeneracion/trigeneracion.html>

SBS. (2022). *Cotización de oferta y demanda tipo de cambio promedio ponderado*. Superintendencia de Banca y Seguros. Perú. [Consulta: 10 de noviembre del 2022]. Disponible en:

[https://www.sbs.gob.pe/app/pp/sistip\\_portal/paginas/publicacion/tipocambiopromedio.aspx](https://www.sbs.gob.pe/app/pp/sistip_portal/paginas/publicacion/tipocambiopromedio.aspx)

Tes Power (2020). *Cogeneración para Hospitales, una excelente opción*. Página web de Empresa Tes Power. México. [Consulta: 20 de mayo del 2022]. Disponible en:

<https://tespower.com.mx/cogeneracion-hospitales/>

# **ANEXOS**

## Índice de Anexos

Anexo 1: Propiedades del bromuro de litio

Anexo 2: Valores de tablas de vapor de agua.

Anexo 3: Carta de equilibrio para la solución acuosa de bromuro de litio

Anexo 4: Diagrama Entalpía concentración para soluciones saturadas de Bromuro de Litio.

Anexo 5: Ficha técnica de grupo electrógeno G3412.

Anexo 6: Ficha técnica de grupo electrógeno G3516.

Anexo 7: Ficha técnica de grupos electrógenos SG350 y SG750.

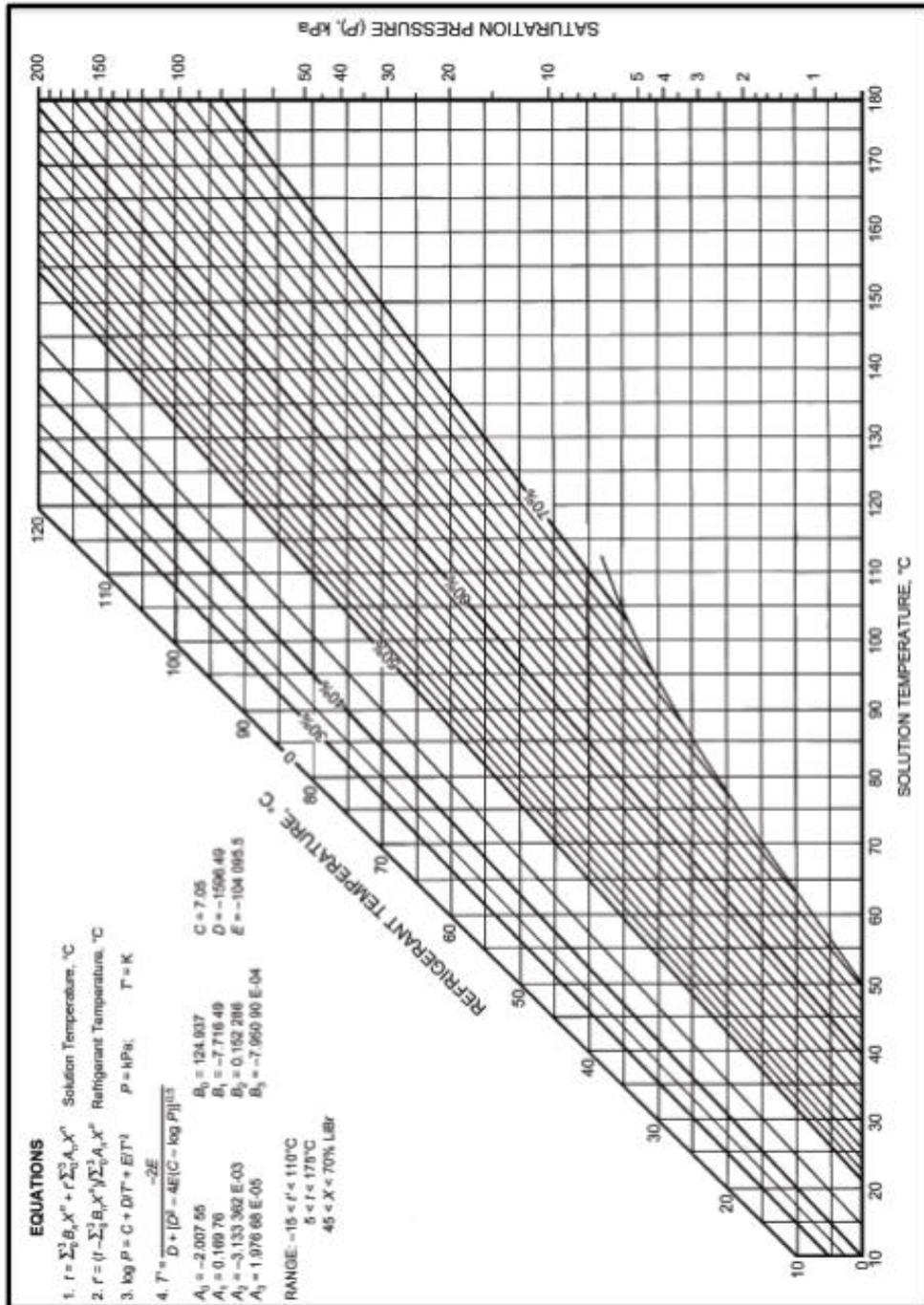
Anexo 1: Propiedades del bromuro de litio.

Propiedad	NH <sub>3</sub> /H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O/LiBr
<b>Refrigerante</b>	Amoníaco	Agua
Calor latente de vaporización	1371.2 kJ/kg Bueno	2260 kJ/kg Excelente
Presión de Vapor	8.88 bar (@ 20 °C) Muy alta	0.98 bar (@ 20° C) Muy baja
Punto de fusión	-78° C Excelente	0° C Limita su aplicación
Viscosidad	0.0098 cp (@ 20°C) Buena	1 cp (@ 20° C) Buena
<b>Absorbente</b>	Agua	Solución Bromuro de Litio
Presión de vapor	Baja	Excelente
Viscosidad	Buena	Buena
<b>Mezcla</b>		
Formación de sólidos	Excelente, rara vez existen	Aplicación limitada por la concentración y presión.
Toxicidad	Alta. Irritante y corrosivo.	Baja
Afinidad entre el refrigerante y el absorbente	Buena	Buena

Fuente: Cortes (2007)

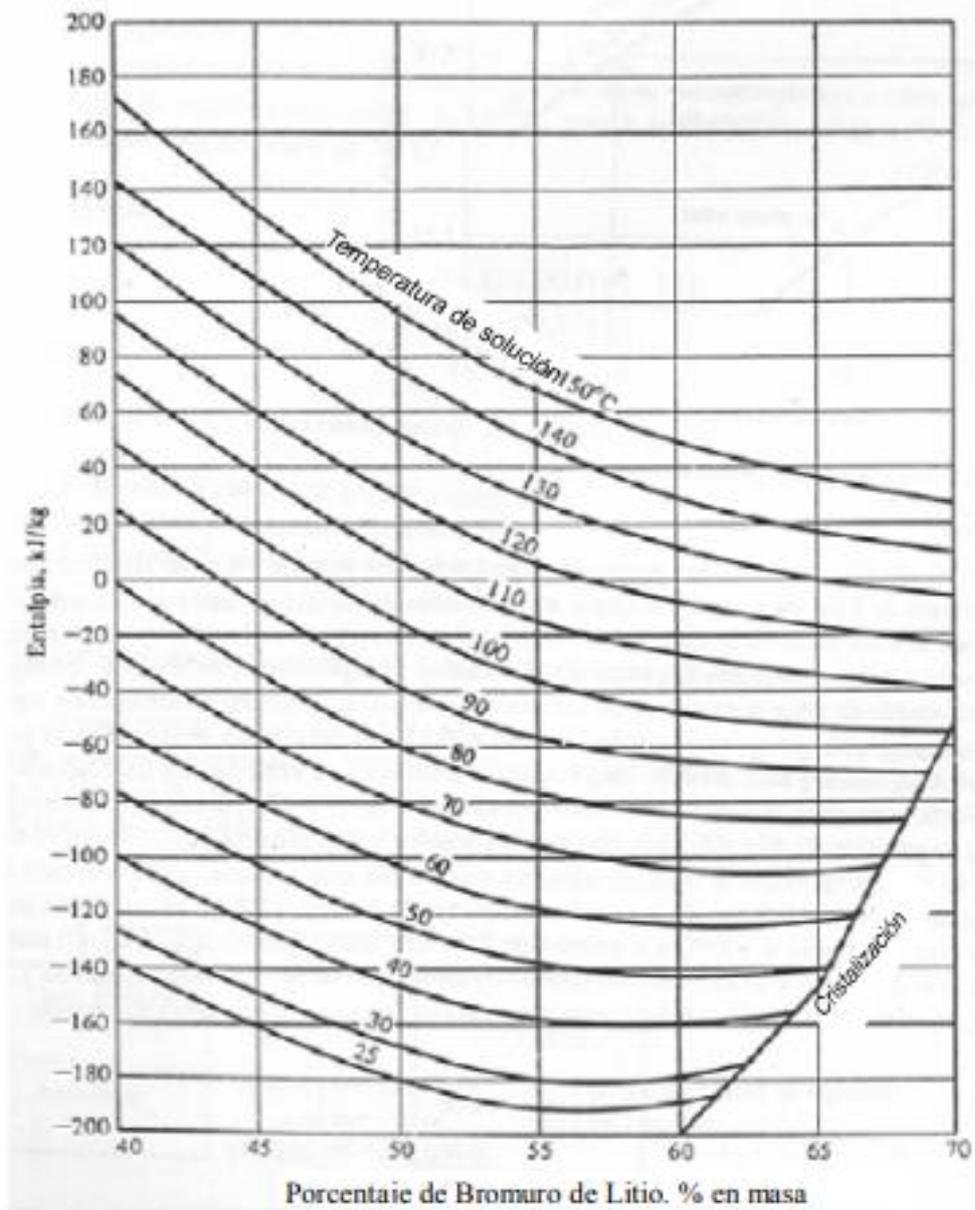
Anexo 2: Valores de tablas de vapor de agua.





Fuente: Cárcamo, Rivas y Valle (2016)

Anexo 4: Diagrama Entalpía concentración para soluciones saturadas de Bromuro de Litio.



Fuente: Cortes (2007)

## Anexo 5: Ficha técnica de grupo electrógeno G3412.

### Cat® G3412 con respuesta rápida Grupos electrógenos de gas



La imagen que se muestra puede no reflejar la configuración real.

Perforación: mm (pulg)	137 (5,4)
Carrera: mm (in)	152 (6,0)
Cilindrada: L (pulg <sup>3</sup> )	27 (1.648)
Relación de compresión	11,4:1
Aspiración	Con turbocompresor
Sistema de combustible	Válvula electrónica de control de combustible
Tipo de regulador	ADEM™ A4

De respaldo 60 Hz ekW (kVA) con ventilador	Rendimiento de emisiones
500 (625)	Certificación para uso fijo de emergencia de la EPA de EE.UU. solamente
500 (625)	NOx no certificado seleccionable (1,7-2,0 g/bhp-h)

#### Características estándar

##### Motor de gas natural Cat®

- Certificación de fábrica 40 CFR Parte 60 Subparte JJJJ de la EPA de EE.UU. solo para uso fijo de emergencia
- Versión de emergencia no certificada/ comprobada en el sitio disponible; que alcanza una salida de NOx de 1,7 g/bhp-h
- El robusto diseño de bloque de alta velocidad de 12 cilindros ofrece una prolongada vida útil y reduce los costos de posesión y operación.

##### Sistema de enfriamiento

- Radiador instalado de fábrica para operar en temperaturas ambiente de hasta 43 °C (110 °F)
- Paquete probado para garantizar la refrigeración adecuada del grupo electrógeno completo

##### Paneles de control EMCP 4

- Interfaz y navegación fácil de usar
- Sistema escalable para satisfacer una amplia variedad de requisitos de instalación

## Rendimiento del paquete

Rendimiento	Emergencia	
Frecuencia	60 Hz	
Clasificación de potencia del grupo electrógeno con factor de potencia de 0,8 – ekW (kVA)	500	(625)
Emissiones – NOx g/bhp-h	1,7	
Número de rendimiento	EM2810 y EM4278	
<b>Consumo de combustible</b>		
Carga del 100 % con ventilador – MJ/ekW-h (BTU/ekW-h)	11,17	(10.595)
Carga del 75 % con ventilador – MJ/ekW-h (BTU/ekW-h)	11,68	(11.075)
Carga del 50 % con ventilador – MJ/ekW-h (BTU/ekW-h)	12,93	(12.263)
<b>Sistema de enfriamiento</b>		
Restricción del flujo de aire del radiador – kPa (pulgadas de agua)	0,12	(0,5)
Flujo de aire del radiador – m <sup>3</sup> /min (cfm) a 0,5" H <sub>2</sub> O	808	(28.534)
Capacidad de temperatura ambiente del radiador a 500 m (1.000') – °C (°F)	44	(111)
Temperatura del circuito auxiliar (admisión máxima) – °C (°F)	62	(144)
Temperatura del agua de las camisas (salida máxima) – °C (°F)	99	(210)
<b>Aire de admisión</b>		
Régimen de flujo de admisión de aire de combustión – Nm <sup>3</sup> /bKW-h (pie <sup>3</sup> /min)	4,30	(1.592)
<b>Capacidad de altitud</b>		
Capacidad ambiente a 25 °C (77 °F), sobre el nivel del mar – m (pies)	994	(3.260)
<b>Sistema de escape</b>		
Temperatura de escape (salida del motor) – °C (°F)	454	(849)
Flujo de gases de escape – Nm <sup>3</sup> /bKW-h (pie <sup>3</sup> /min)	4,59	(4.197)
Flujo de masa de gases de escape – kg/bKW-h (lb/h)	5,77	(7.331)
<b>Rechazo de calor</b>		
Rechazo de calor al circuito de agua de las camisas (JW+OC) – kW (BTU/min)	335	(19.082)
Rechazo de calor al agua de las camisas – kW (BTU/min)	279	(15.883)
Rechazo de calor al escape (LHV a 25 °C/77 °F) – kW (BTU/min)	470	(26.750)
Rechazo de calor al circuito auxiliar – kW (BTU/min)	136	(7.724)

Anexo 6: Ficha técnica de grupo electrógeno G3516.

# Cat® G3516 con respuesta rápida

## Grupos electrógenos de gas



La imagen que se muestra puede no reflejar la configuración real.

Perforación: mm (pulg)	170 (6,7)
Carrera: mm (in)	215 (8,5)
Cilindrada: L (pulg <sup>3</sup> )	78 (4.765)
Relación de compresión	11,5:1
Aspiración	Con turbocompresor
Sistema de combustible	Válvula electrónica de control de combustible
Tipo de regulador	ADEM™ A4

De respaldo 60 Hz eKW (kVA) con ventilador	Rendimiento de emisiones
1.500 (1.875)	NOx no certificado seleccionable (0,5-1,0 g/bhp-h)

### Características estándar

#### Motor de gas natural Cat®

- Versión de emergencia de fábrica no certificada/ comprobada en el sitio disponible; que alcanza una salida de NOx de 1,0 g/bhp-h
- Robusto diseño de bloque de alta velocidad para una vida útil prolongada y menores costos de posesión y operación
- Diseñado para un rendimiento máximo en suministro de combustible gaseoso de baja presión

#### Paneles de control EMCP 4

- Interfaz y navegación fácil de usar
- Sistema escalable para satisfacer una amplia variedad de requisitos de instalación
- Módulos de expansión y programación específica del sitio para satisfacer requisitos especiales del cliente

#### Garantía

### Rendimiento del paquete

Rendimiento	Emergencia
Frecuencia	60 Hz
Clasificación de potencia del grupo eléctrico con factor de potencia de 0,8 – eKW (kVA)	500 (1.875)
Emisiones – NOx seleccionable g/bhp-h	1,0
Número de rendimiento	EM6086 con ventilador
<b>Consumo de combustible</b>	
Carga del 100 % con ventilador – vMJ/ekW-h (BTU/ekW-h)	10,24 (9.356)
Carga del 75 % con ventilador – MJ/ekW-h (BTU/ekW-h)	10,88 (9.846)
Carga del 50 % con ventilador – MJ/ekW-h (BTU/ekW-h)	12,23 (10.909)
<b>Sistema de enfriamiento</b>	
Restricción del flujo de aire del radiador – kPa (pulgadas de agua)	0,12 (0,5)
Flujo de aire del radiador – m <sup>3</sup> /min (cfm) a 0,5" H <sub>2</sub> O	2.146 (75.784)
Capacidad de temperatura ambiente del radiador a 500 m (1.000') – °C (°F)	45 (113)
Temperatura del circuito auxiliar (admisión máxima) – °C (°F)	54 (130)
Temperatura del agua de las camisas (salida máxima) – °C (°F)	99 (210)
<b>Aire de admisión</b>	
Régimen de flujo de admisión de aire de combustión – Nm <sup>3</sup> /bKW-h (pie <sup>3</sup> /min)	4,26 (4.621)
<b>Capacidad de altitud</b>	
Capacidad ambiente a 25 °C (77 °F), sobre el nivel del mar – m (pies)	2.000 (6.562)
<b>Sistema de escape</b>	
Temperatura de escape (salida del motor) – °C (°F)	509 (949)
Flujo de gases de escape – Nm <sup>3</sup> /bKW-h (pie <sup>3</sup> /min)	4,53 (13.072)
Flujo de masa de gases de escape – kg/bKW-h (lb/h)	5,71 (21.239)
<b>Rechazo de calor</b>	
Rechazo de calor al circuito de agua de las camisas (JW+AC1 + OC) – kW (BTU/min)	927 (52.726)
Rechazo de calor al agua de las camisas – kW (BTU/min)	549 (31.230)
Rechazo de calor al escape (LHV a 120 °C/248 °F) – kW (BTU/min)	1.175 (66.821)
Rechazo de calor al circuito auxiliar – kW (BTU/min)	151 (8.583)
Rechazo de calor a la atmósfera del motor y el generador – kW (BTU/min)	205 (11.638)

## Anexo 7: Ficha técnica de grupos electrógenos SG350 y SG750.

SERIE INDUSTRIAL®	SG230	SG250	SG275	SG300	SG350
Potencia Stand by	230 kW	250 kW	275 kW	300 kW	350 kW
Potencia Prime	207 kW	225 kW	248 kW	270 kW	315 kW
Voltaje	220 - 480V / 600V				
Fases	Trifásico				
Factor de Potencia	0.8				
Frecuencia	60 Hz				
N° Cilindros	6 en Línea				12 en V
Aspiración	Turbocargado y Post Enfriado				
Desplazamiento	14.2 L				21.9 L
Sistema de Arranque	24VDC				
Velocidad	1,800 rpm				
Sistema de Enfriamiento	Enfriado por Agua y Radiador				
Dimensiones Abierto	3.52 x 1.46 x 1.73 m				3.92 x 1.8 x 1.70 m
Peso Abierto	2,736 kg	2,736 kg	2,722 kg	2,852 kg	3,753 kg
Dimensiones Cerrado	4.44 x 1.34 x 1.97 m				5.27 x 1.8 x 2.03 m
Peso Cerrado	3,445 kg	3,445 kg	3,445 kg	3,562 kg	4,746 kg
Instalación	Anclado a un mín. de 1 mt de la edificación, requiere de 1 - 2 tramos de tubería de escape y un ducto de aire caliente.				
	Consumo de Gas @ 100% de carga				
Presión de entrada	1.7 - 2.7 kPa	1.7 - 2.7 kPa	1.7 - 2.7 kPa	1.7 - 2.7 kPa	2.7 - 3.7 kPa
Gas Natural	78.6 m3/hr	84.5 m3/hr	89.5 m3/hr	57.1 m3/hr	112.6 m3/hr

SERIE INDUSTRIAL®	SG400	SG450	SG500	SG625	SG750
Potencia Stand by	400 kW	450 kW	500 kW	625 kW	750 kW
Potencia Prime	360 kW	400 kW	450 kW	563 kW	675 kW
Voltaje	220 - 480V / 600V				
Fases	Trifásico				
Factor de Potencia	0.8				
Frecuencia	60 Hz				
N° Cilindros	12 en V				
Aspiración	Turbocargado y Post Enfriado				
Desplazamiento	21.9 Lm		25.8 L		33.9 L
Sistema de Arranque	24VDC				
Velocidad	1,800 rpm				
Sistema de Enfriamiento	Enfriado por Agua y Radiador				
Dimensiones Abierto	3.92 x 1.8 x 1.70 m		3.92 x 1.8 x 1.9 m	4.64 x 2.14 x 3.6	
Peso Abierto	3,823 kg	3,753 kg	4,257 kg	6,724 kg	7,426 kg
Dimensiones Cerrado	5.27 x 1.8 x 2.03 m		6.29 x 1.8 x 2.03 m	7.32 x 2.54 x 3.98 m	
Peso Cerrado	4,730 kg	4,746 kg	5,707 kg	10,315 kg	Consultar
Instalación	Anclado a un mín. de 1 mt de la edificación, requiere de 2 tramos de tubería de escape y un ducto de aire caliente.				
	Consumo de Gas @ 100% de carga				
Presión de entrada	2.7 - 3.5 kPa	2.7 - 3.5 kPa	2.7 - 3.7 kPa	2.7 - 3.5 kPa	2.7 - 3.5 kPa
Gas Natural	136.6 m3/hr	153 m3/hr	164.8 m3/hr	177.9 m3/hr	220 m3/hr



### DECLARACION JURADA DE AUTORÍA

Yo, Oscar Franco Mariños Bancayan, Bachiller de la

Facultad:	Ciencias		Educación		Ingeniería	X
Escuela Profesional:	Ingeniería en Energía					
Departamento Académico:	Energía, Física y Mecánica					
Escuela de Posgrado	Maestría			Doctorado		

Programa:

De la Universidad Nacional del Santa; Declaro que el trabajo de investigación es un **trabajo inédito**, intitulado:

Efecto de la implementación de un sistema de Trigeneración de energía en la cobertura de la energía en el Hospital la Caleta de Chimbote.

presentado en 105 folios, para la obtención del Grado académico: ( )

Título profesional: (X) Investigación anual: ( )

- He citado todas las fuentes empleadas, no he utilizado otra fuente distinta a las declaradas en el presente trabajo.
- Este trabajo de investigación no ha sido presentado con anterioridad ni completa ni parcialmente para la obtención de grado académico o título profesional.
- 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.
- De encontrarse uso de material intelectual sin el reconocimiento de su fuente o autor, me someto a las sanciones que determinan el proceso disciplinario.

Chimbote, marzo de 2024

Firma:

Nombres y Apellidos: Oscar Franco Mariños Bancayan

DNI: 72371913



## ACTA DE APROBACION DE ORIGINALIDAD

Yo, Denis Javier Aranguri Cayetano

asesor / presidente de la Unidad de Investigación de la

Facultad	Ciencias		Educación		Ingeniería	
Departamento Académico	Energía, Física y Mecánica					
Escuela de Postgrado	Maestría			Doctorado		
Programa académico:						

De la Universidad Nacional del Santa. Asesor / Unidad de Investigación revisora del trabajo de Investigación intitulado:

Efecto de la implementación de un sistema de Trigeneración de energía en la cobertura de la energía en el Hospital la Caleta de Chimbote

Del estudiante / docente: Oscar Franco Mariños Bancayan

De la escuela / departamento académico: Ingeniería en Energía

Constato que la investigación presentada tiene un porcentaje de similitud del 23 % el cual se verifica con el reporte de originalidad de la aplicación Turnitin adjunto.

Quién suscribe la presente, declaro el haber analizado dicho reporte y concluyo que las coincidencias detectadas no se conforman como plagio. A mi claro saber y entender, la investigación cumple con las normas de citas y referencias establecidas por la Universidad Nacional del Santa.

Nuevo Chimbote, marzo del 2024

Firma:

Nombres y Apellidos del Asesor/presidente UIF: Dr. Denis Javier Aranguri Cayetano

DNI: 42009679

## Facultad de Ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería en Energía

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

- 1) Apellidos/Nombres: Mariños Bancayan, José Luis. Oscar Franco
- 2) Título de la Tesis: Efecto de la implementación de un sistema de Trigeneración de energía en la cobertura de la energía en el Hospital la Caleta de Chimbote.
- 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, marzo del 2024.



Dr. Denis Javier Aranguri Cayetano  
Asesor

9	Internet Source	<1 %
10	<a href="http://ri.ues.edu.sv">ri.ues.edu.sv</a> Internet Source	<1 %
11	<a href="http://biblioteca.portalbolsasdeestudo.com.br">biblioteca.portalbolsasdeestudo.com.br</a> Internet Source	<1 %
12	<a href="http://repositorio.autonomadeica.edu.pe">repositorio.autonomadeica.edu.pe</a> Internet Source	<1 %
13	<a href="http://www.diariovoces.com.pe">www.diariovoces.com.pe</a> Internet Source	<1 %
14	<a href="http://emprefinanzas.com.mx">emprefinanzas.com.mx</a> Internet Source	<1 %
15	<a href="http://alicia.concytec.gob.pe">alicia.concytec.gob.pe</a> Internet Source	<1 %
16	<a href="http://zagan.unizar.es">zagan.unizar.es</a> Internet Source	<1 %
17	<a href="http://repositorio.ugto.mx">repositorio.ugto.mx</a> Internet Source	<1 %
18	<a href="http://prezi.com">prezi.com</a> Internet Source	<1 %
19	<a href="http://www.revistas.unitru.edu.pe">www.revistas.unitru.edu.pe</a> Internet Source	<1 %
20	<a href="http://ej-bowman.com">ej-bowman.com</a> Internet Source	<1 %

21	<a href="http://fdocuments.ec">fdocuments.ec</a> Internet Source	<1 %
22	<a href="http://repositorio.uni.edu.pe">repositorio.uni.edu.pe</a> Internet Source	<1 %
23	<a href="http://archive.org">archive.org</a> Internet Source	<1 %
24	<a href="http://doku.pub">doku.pub</a> Internet Source	<1 %
25	<a href="http://www.tdx.cat">www.tdx.cat</a> Internet Source	<1 %
26	<a href="http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083">bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083</a> Internet Source	<1 %
27	<a href="http://tesis.ucsm.edu.pe">tesis.ucsm.edu.pe</a> Internet Source	<1 %
28	<a href="http://core.ac.uk">core.ac.uk</a> Internet Source	<1 %
29	<a href="http://upcommons.upc.edu">upcommons.upc.edu</a> Internet Source	<1 %

Exclude quotes  Off  
Exclude bibliography  On

Exclude matches  < 15 words

