

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



**“Sistema de poligeneración para la autogeneración de energía  
en centros de salud”**

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

**AUTORES:**

Bach. Moreno Vilcarino, Hirvink Rodrigo

Bach. Guillen Fernández, Carlos Jesús

**ASESOR:**

Mg. Guevara Chinchayan, Robert Fabian

DNI 32788460

Código ORCID: 0000-0002-3579-3771

**Nuevo Chimbote-Perú**

**2024**

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



**CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR**

La presente Tesis para Título ha sido revisada y desarrollada en cumplimiento a los objetivos propuestos y reúne las condiciones formales y metodológicas, estando en cuadrado con las áreas y líneas de investigación conforme al reglamento general para obtener el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa (R.D: N°580-2022-CU-R-UNS) según la denominación siguiente

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

**Sistema de poligeneración para la autogeneración de energía en centros  
de salud**

AUTORES :

Bach. Moreno Vilcarino, Hirvink Rodrigo  
Bach. Guillen Fernández, Carlos Jesús

-----  
Mg. Guevara Chinchayan, Robert Fabian  
DNI 327888460  
Código ORCID: 0000-0002-3579-3771

# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

## FACULTAD DE INGENIERÍA



### ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA

#### HOJA DE CONFORMIDAD DEL JURADO EVALUADOR

El presente Jurado Evaluador da la conformidad del presente informe, desarrollado en cumplimiento del objetivo propuesto y presentado con forme al Reglamento General para obtener el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa, titulado:

#### **“Sistema de poligeneración para la autogeneración de energía en centros de salud”**

AUTORES:

Bach. Moreno Vilcarino, Hirvink Rodrigo  
Bach. Guillen Fernández, Carlos Jesús

Revisado y evaluado por el siguiente Jurado Evaluador:

DR. Mariños Castillo, Gualberto Antenor  
**Presidente**  
DNI:17890841  
CÓD. ORCID: 0000-0001-7514-9908

MG. Pérez Pinedo, Oscar Fernando  
**Secretario**  
DNI:32739412  
CÓD. ORCID: 0000-0002-5780-6115

MG. Guevara Chinchayan, Robert Fabian  
**Integrante**  
DNI: 32788460  
CÓD. ORCID: 0000-0002-3579-3771



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

**FACULTAD DE INGENIERIA**  
Dirección E.P. de Ingeniería en Energía

## ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

El día lunes 29 del mes de abril del año dos mil veinticuatro, siendo las 11:00 a.m. en el Aula E-3 de la Escuela Profesional de Ingeniería en Energía, en cumplimiento al Art. 68 del Reglamento General de Grados y Títulos, aprobado con Resolución N°337-2024-CU-R-UNS de fecha 12.04.24, se instaló el Jurado Evaluador designado mediante **Resolución N° 031-2024-UNS-CFI** de fecha 09.01.24, integrado por los siguientes docentes:

- Dr. Gualberto Antenor Mariños Castillo : Presidente
- Mg. Oscar Fernando Pérez Pinedo : Secretario
- Mg. Robert Fabián Guevara Chinchayán : Integrante

Y según la **Resolución Decanal N°187-2024-UNS-FI** de fecha 19.04.24 se **DECLARA EXPEDITO** al bachiller para dar inicio a la sustentación y evaluación de la Tesis, titulada: **"SISTEMA DE POLIGENERACIÓN PARA LA AUTOGENERACIÓN DE ENERGÍA EN CENTROS DE SALUD"**, perteneciente a los bachilleres: **CARLOS JESUS GUILLÉN FERNANDEZ** con código de matrícula N°0201011014 y **MORENO VILCARINO HIRVINK RODRIGO** con código de matrícula N°0201011049, teniendo como asesor al docente **Mg. Robert Fabián Guevara Chinchayán**, según Resolución Decanal N° 791-2022-UNS-FI de fecha 07.12.22.

Terminada la sustentación de los bachilleres, respondieron 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 73° del Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad Nacional del Santa, declara:

BACHILLER	PROMEDIO	PONDERACIÓN
CARLOS JESUS GUILLÉN FERNANDEZ	17	BUENO

Siendo las 11:40 a.m. 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

  
Mg. Oscar Fernando Pérez Pinedo  
SECRETARIO

  
Mg. Robert Fabián Guevara Chinchayán  
INTEGRANTE

## ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

El día lunes 29 del mes de abril del año dos mil veinticuatro, siendo las 11:00 a.m. en el Aula E-3 de la Escuela Profesional de Ingeniería en Energía, en cumplimiento al Art. 68 del Reglamento General de Grados y Títulos, aprobado con Resolución N°337-2024-CU-R-UNS de fecha 12.04.24, se instaló el Jurado Evaluador designado mediante **Resolución N° 031-2024-UNS-CFI** de fecha 09.01.24, integrado por los siguientes docentes:

- Dr. Gualberto Antenor Mariños Castillo : Presidente
- Mg. Oscar Fernando Pérez Pinedo : Secretario
- Mg. Robert Fabián Guevara Chinchayán : Integrante

Y según la **Resolución Decanal N°187-2024-UNS-FI** de fecha 19.04.24 se **DECLARA EXPEDITO** al bachiller para dar inicio a la sustentación y evaluación de la Tesis, titulada: **"SISTEMA DE POLIGENERACIÓN PARA LA AUTOGENERACIÓN DE ENERGÍA EN CENTROS DE SALUD"**, perteneciente a los bachilleres: **CARLOS JESUS GUILLÉN FERNANDEZ** con código de matrícula N°0201011014 y **MORENO VILCARINO HIRVINK RODRIGO** con código de matrícula N°0201011049, teniendo como asesor al docente **Mg. Robert Fabián Guevara Chinchayán**, según Resolución Decanal N° 791-2022-UNS-FI de fecha 07.12.22.

Terminada la sustentación de los bachilleres, respondieron 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 73° del Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad Nacional del Santa, declara:

BACHILLER	PROMEDIO	PONDERACIÓN
HIRVINK RODRIGO MORENO VILCARINO	17	BUENO

Siendo las 11:40 a.m. 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

  
Mg. Oscar Fernando Pérez Pinedo  
SECRETARIO

  
Mg. Robert Fabián Guevara Chinchayán  
INTEGRANTE



## Recibo digital

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

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega:	HIRVINK RODRIGO MORENO VILCARINO
Título del ejercicio:	TESIS
Título de la entrega:	Sistema de poligeneración para la autogeneración de energ...
Nombre del archivo:	TESIS_GUILLEN_MORENO.pdf
Tamaño del archivo:	3.31M
Total páginas:	137
Total de palabras:	27,644
Total de caracteres:	142,605
Fecha de entrega:	07-jun.-2024 08:30a. m. (UTC-0500)
Identificador de la entre...	2397621258



## Sistema de poligeneración para la autogeneración de energía en centros de salud

### INFORME DE ORIGINALIDAD

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

### FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>repositorio.uns.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>19%</b>
<b>2</b>	<b>tesis.ipn.mx</b> Fuente de Internet	<b>2%</b>
<b>3</b>	<b>repositorio.utec.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>4</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>repositorio.usanpedro.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>6</b>	<b>www.tdx.cat</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>7</b>	<b>idus.us.es</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>8</b>	<b>es.wikipedia.org</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>9</b>	<b>tesis.ucsm.edu.pe</b> Fuente de Internet	

## DEDICATORIA

A Dios por darme la posibilidad de realizar este proyecto que es la culminación de la formación de mi etapa profesional.

A mis padres el Sr. Javier Guillen y mi Sra. Madre

La Sra. Ofelia Guillen por su ejemplo de vida.

Para mi esposa Nataly Maguiña por su apoyo constante

En el camino de vida, siempre juntos.

Para mis hijos Noah y Matteo que son los soportes y motivación para mi desarrollo profesional.

C.J.G.F

## DEDICATORIA

A Dios primero, por darme las fuerzas y  
entregarme sus bendiciones durante este  
largo camino

A mis srs. padres Natividad Moreno y Victoria Vilcarino  
por su apoyo incondicional y consejos que me impulsan a ser mejor  
cada día

Para mi esposa Stephany Sosa Ponce  
Por su cariño y apoyo incondicional.

Para mis queridos hijos Sophia y Rodrigo Moreno Sosa  
por ser la mayor fuente de mi motivación para salir adelante y  
demostrándole que con perseverancia se logran cada uno de nuestros  
objetivos

H.R.M.V

## RECONOCIMIENTO

Agradecimiento a mi asesor Mg. Robert Guevara Chinchayan bajo su dirección y responsabilidad en la ejecución de este informe, se logró este objetivo.

También un profundo agradecimiento a mis profesores de la Universidad Nacional del Santa y de la Escuela de Ingeniería en Energía por sus enseñanzas invaluable, en realizar de mi un profesional de ética y competente.

Y con mucho afecto para mis compañeros de la Policía Nacional del Perú por el gran trabajo de todos los días.

H.R.M.V

## RECONOCIMIENTO

Agradecimiento a mi asesor Mg. Robert Fabian Guevara Chinchayan por su asesoría y brindarme sus conocimientos en la elaboración de mi tesis.

También agradecer a mis profesores de la Universidad Nacional del Santa y de la Escuela de Ingeniería en Energía por las enseñanzas invaluable, en realizar de mi persona, un profesional para el servicio de mi país.

Para mis compañeros de promoción y de trabajo que de cierta manera contribuyeron con esta investigación.

Atentamente,

C.J.G.F

## INDICE GENERAL

### INDICE RESUMEN

I.	INTRODUCCIÓN.	1
1.1	Realidad Problemática	1
1.2	Antecedentes	2
1.3	Justificación	5
1.4	Hipótesis	6
1.5	Objetivos	6
II.	MARCO TEÓRICO.	7
2.1	Integración energética.	7
2.2	Cogeneración	15
2.3	Trigeneracion	29
2.4	Poligeneración	39
III.	MATERIAL Y MÉTODO	48
3.1	Material	48
3.2	Método	56
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	66
4.1	Determinación de la carga requerida	66
4.2	Propuesta del arreglo de poligeneración	75
4.3	Estimación del ahorro de energía primaria	85
4.4	Discusión de resultados	90
V.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	92
5.1	Conclusiones	92
5.2	Recomendaciones	93
VI.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	94
VII.	ANEXOS	102

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Esquema de suministro convencional de energía a un centro de consumo de Energía	11
Figura 2 Esquema de suministro convencional de energía con respaldo con grupo Electrónico	12
Figura 3 Diagrama de un sistema de generación distribuida	13
Figura 4 Flujo de Energía de un sistema de Generación de Energía convencional de una PCE	17
Figura 5 Flujo de Energía con sistema de cogeneración de una Planta Consumidora de Energía	17
Figura 6 Configuraciones de los sistemas de cogeneración	19
Figura 7 Cogeneración con turbina de vapor de contrapresión	20
Figura 8 Cogeneración con turbina de vapor de gas	21
Figura 9 Cogeneración con motores de combustión interna	22
Figura 10 Cogeneración aplicado a centros de salud	24
Figura 11 Disposición de sistemas de recuperación de calor	25
Figura 12 Esquema de cogeneración calificada	28
Figura 13 Esquema de trigeneración con sistemas convencionales	30
Figura 14 Integración de equipos de recuperación y de refrigeración térmica en los sistemas de cogeneración en función de la temperatura del calor residual.	32
Figura 15 Esquema de refrigeración por absorción con BrLi.	34
Figura 16 Circuitos de operación de un sistema de refrigeración por absorción con BrLi.	35
Figura 17 Diagrama P vs T para el sistema de refrigeración por absorción con BrLi	36
Figura 18 Características típicas de las enfriadoras de agua/bromuro de litio de simple Efecto	38
Figura 19 Diagrama de la configuración de trigeneración ensayada en la universidad de Jiao Tong.	39
Figura 20 Poligeneración: proceso de transformación multirecurso y multi-producto	40
Figura 21 Sistema de poligeneración con MCI y colectores solares	41
Figura 22 Esquema de Poligeneración en un hospital en Eslovenia	42
Figura 23 Tipos de colectores solares	45
Figura 24 Sistema de almacenamiento de agua convencional	47
Figura 25 Hospital III ESSALUD Chimbote	48
Figura 26 Caldero Manster de 100 BHP	50

Figura 27 Distribuidor general de vapor saturado	50
Figura 28 Calentador de agua sanitaria	51
Figura 29 Diagrama unifilar hospital III ESSALUD – Chimbote	53
Figura 30 Diagrama de carga térmica de área de lavandería	54
Figura 31 Diagrama de carga térmica de área de esterilización	55
Figura 32 Diagrama de carga térmica de área de nutrición	56
Figura 33 Sistema convencional de suministro de energía	58
Figura 34 Ubicación de las Potencias en un grupo electrógeno	59
Figura 35 Recuperación de calor residual de un MCI	60
Figura 36 Distribución de Flujo de Energía en sistemas de absorción	63
Figura 37 Ubicación tentativa de Termas solares de 300 litros de capacidad	68
Figura 38 Diagrama de carga térmica coincidente	69
Figura 39 Propuesta de poligeneración con G3512 Gas Generator Sets CAT de 750 kW	80
Figura 40 Propuesta de poligeneración con G3412C Gas Generator Sets CAT de 500 kW	81
Figura 41 Propuesta de poligeneración con G3512 Gas Generator Sets CAT de 1 000 kW	82
Figura 42 Propuesta de poligeneración con G3512H Gas Generator Sets CAT de 1 490 kW	83
Figura 43 Potencias características de tecnologías de generación	84
Figura 44 Grado aprovechamiento de flujo de calor.	85

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Parámetros de Calificación para Centrales de Cogeneración	27
Tabla 2 Información de Calderos Piro tubulares	49
Tabla 3 Información de Calentador de agua sanitaria	52
Tabla 4 Información de Consumo de Energía Eléctrica	52
Tabla 5 Horario de consumo de energía térmica	53
Tabla 6 Inventario de carga de climatización	56
Tabla 7 Temperaturas características del ciclo de refrigeración por absorción	71
Tabla 8 Cumplimiento de criterios de calificación con Tecnologías de generación	84
Tabla 9 Facturación mes abril 2023	87
Tabla 10 Benchmarking energético	89

## RESUMEN

El Hospital ESSALUD es un centro de salud de atención hospitalaria por consultorio interno y emergencia y de hospitalización, ubicada en la ciudad de Chimbote, la cual tiene un sistema convencional de energía, la demanda eléctrica máxima es de 315 kW suministrado a través de la Empresa Hidrandina y se requiere 131,6 galón/día de petróleo DB5 para satisfacer una demanda de 67,6 kg/día de vapor saturado para la generación de agua caliente sanitaria y 470 kg/h como máxima demanda de vapor saturado para cubrir los servicios de lavandería, cocción y esterilización.

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.

El sistema de poligeneración para el autoabastecimiento de energía, sugerido tiene como base el G3512 Gas Generator Sets CAT de 750 kW, que consume 231 m<sup>3</sup>/h de gas natural, abasteciendo el 100% de la energía eléctrica requerida (229,6 kW) y 100% de la demanda térmica requerida, incluido los 371,5 kW necesarios para el sistema de refrigeración de absorción, mientras que el agua caliente sanitaria es cubierta por 3 termas solares de 300 litros c/u. Se estimó la reducción de energía primaria para la propuesta de implementación del sistema de poligeneración, teniendo como resultado el ahorro de energía primaria térmica de 736,6 GJ/mes, lo que representa un porcentaje de ahorro de 37,07%.

**PALABRA CLAVE:** Poligeneración, integración energética, tecnología emergente.

## **ABSTRACT**

The ESSALUD Hospital is a hospital care health center for internal and emergency consultation and hospitalization, located in the city of Chimbote, which has a conventional energy system, the maximum electrical demand is 315 kW supplied through the Company Hidrandina requires 131.6 gallons/day of DB5 oil to satisfy a demand of 67.6 kg/day of saturated steam for the generation of sanitary hot water and 470 kg/h as the maximum demand for saturated steam to cover water services. laundry, cooking and sterilization.

The research work is of a pre-experimental type, of a descriptive nature. The design of pre-experimental investigation is used to establish a relationship between the cause and the effect of a situation.

The polygeneration system for self-supply of energy, suggested as a base, is the 750 kW G3512 Gas Generator Sets CAT, which consumes 231 m<sup>3</sup>/h of natural gas, supplying 100% of the required electrical energy (229.6 kW) and 100% of the required thermal demand, including the 371.5 kW required for the absorption refrigeration system, while the hot sanitary water is covered by 3 solar thermal baths of 300 liters c/u. If I estimate the primary energy reduction for the proposed implementation of the polygeneration system, resulting in a primary thermal energy saving of 736.6 GJ/month, which represents a saving percentage of 37.07%.

**KEYWORD:** Polygeneration, energy integration, emerging technology.

## **I. INTRODUCCIÓN.**

### **1.1 Realidad problemática**

La energía, su precio y el abastecimiento, vienen ocupando las portadas de todos los medios de comunicación tanto generalistas como económicos. La preocupación de los ciudadanos y las empresas es alta dado el precio que estamos viendo. Además, debería tenerse presente que el invierno se acerca y el aprovisionamiento necesario puede estar en entredicho para Europa. El encarecimiento de la energía tendrá consecuencias negativas para la ansiada recuperación económica post pandemia, máxime si en el invierno no existen reservas suficientes y hay escasez de suministros.

Europa, por ejemplo, en España, se ha optado por un cambio de modelo energético, aquellas fuentes de energía que más contaminan serán sustituidas por energías renovables. El petróleo, como lo hizo el carbón, irá perdiendo presencia e importancia y la electricidad ganará protagonismo, la energía eléctrica está llamada ser imperante. El plan para esa transición se ha realizado muy rápidamente y con un calendario muy exigente, generando problemas que se perciben ya. El objetivo de la transición es de gran valía, sin embargo, se ha acelerado y forzado demasiado.

Desde la reciente crisis de energía, se han propuesto diversos planes energéticos: casi todos ellos preconizan alguna forma de adaptación de la demanda de energía o de medidas de conservación de los recursos, con la esperanza de evitar así los temidos problemas de abastecimiento de energía. Sin embargo, no parece existir una explicación clara de la forma en que podríamos mitigar nuestros futuros y previsibles problemas energéticos. En realidad, una primera tentativa de definir con exactitud la demanda de energía y sus interacciones con otros objetivos, por ejemplo, los económicos, muestra que se trata de un concepto sumamente complejo, que todavía entendemos mal.

Los sistemas de abastecimiento de energía en el sector industrial y servicios, tal como son los hospitales, emplean sistemas de suministro de energía separados unos de otros, tal es el caso de la dependencia del suministro de energía eléctrica por parte de las empresas distribuidoras a distintos niveles de tensión y sujetos al pago por potencia variable, lo cual resulta antieconómico para cualquier consumidor. Y por otro la generación térmica de agua caliente o vapor saturado emplean un equipo de combustión como primer equipo de generación, con petróleo DB5 o gas natural con cierto grado de eficiencia hasta un 85%, según el tipo de caldero; pero se ha llegado a

un tope en la mejora del desempeño. Mas aun las ideas innovadoras de cruzar flujos, aprovechar flujos remanentes de calor no son aún empleados en nuestro país, sobre todo por falta de difusión de las tecnologías eficientes y sobre todo porque no existen estudios que demuestren que los sistemas de poligeneración son alternativas de solución al abastecimiento de energía confiable, seguro y de alto grado de aprovechamiento de la Energía primaria adquirida. Es por ello que, la hibridación de los dos métodos de generación mencionados resulta una solución técnicamente viable, ya que se complementan uno al otro, y logran mejores resultados en términos de rendimiento energético, reduciéndose los costos por compra de energía eléctrica y combustibles y del mismo modo reducción de gases de efecto invernadero.

Según lo redactado en la realidad problemática se formula el siguiente problema:

¿Cuáles son las características técnicas de los sistemas de Poligeneración que permiten la autogeneración de energía en centros de salud?

## **1.2 Antecedentes:**

Se presentan los antecedentes para el presente informe:

Álvarez, J. (2010), en su tesis central de Poligeneración de alta eficiencia en una industria química, para optar el título de Ingeniería Industrial en la Universidad Politécnica de Cataluña en España resume: El presente documento describe la ingeniería conceptual de un proyecto de construcción de una central de poligeneración en una industria química. El término poligeneración se aplica a centrales de cogeneración que presentan un amplio abanico en la diversificación de generación de calor útil, sobrepasando la generación de electricidad, vapor y frío de las centrales convencionales de Trigeneración. Previamente a la realización de la ingeniería conceptual se realizó un estudio de viabilidad, cuya finalidad era la de encontrar la central de energías óptima para abastecer los consumos de la empresa.

Domínguez, M. (2020) en su tesis Evaluación de un Sistema de Poligeneración para la Sostenibilidad Energética en el Corregimiento Cañaveral-Bolívar, para optar el grado de Magister en Eficiencia Energética y Energía Renovables en la Universidad de la Costa en Barranquilla, Colombia, concluye lo siguiente: El sistema de poligeneración presenta un Valor presente de \$172.375.100,00, un Valor Actual Anual de \$14.551.270,00 COP, una Tasa de Retorno (TIR) de 28.3% a una tasa de retorno económico del 28,8%, una retribución simple 4 años (periodo de recuperación de la

inversión), y una retribución por descuento de 4,57 años. El sistema de Poligeneración que se calculó en Excel con base en el presupuesto presenta financieramente un Valor actual del proyecto de \$ 1.469.720.237,98 COP, una TIR de 19 %, una relación costo beneficio de 1,36, la recuperación (Pay Back) se hace en 4,4 años (cuatro años, cuatro meses y 24 días), la rentabilidad adicional (EVA) es del 8%. Hay que tener en cuenta que la carga en el sector los Olivos es baja, y la distancia entre la red eléctrica y el sector no es considerable, por lo que el proyecto es aún más viable.

Felbol, C. (2016) en su tesis Diseño de una planta de poligeneración solar con colectores lineales fresnel para generación de electricidad, frío y calor para procesos industriales y agua desalinizada, para optar el grado de Maestra en Ciencias e Ingeniería en la Pontificia Universidad Católica de Chile, concluye:

se observó que para la tecnología de concentración mediante el uso de colectores lineales Fresnel, se requiere un campo solar de gran tamaño, utilizando un múltiplo solar de 4,5 con un área de apertura de 1.143.770 m<sup>2</sup>, para poder alcanzar una fracción solar mayor al 50%, específicamente se alcanza un 52,11% utilizando dicho múltiplo solar en conjunto con un sistema de almacenamiento térmico con 12 horas de capacidad en 2 tanques de sales fundidas a una temperatura de operación del ciclo de potencia de 373 °C. Los niveles de producción de agua de la planta poligeneradora completa llegan a 32.328 m<sup>3</sup>/día, considerando que todo el flujo de vapor que ingresaba al condensador del ciclo de potencia ahora es condensado en la planta desalinizadora de múltiple efecto (MED), la que se alimenta del calor proveniente de este flujo para su funcionamiento.

Marimon, M (2011) en su tesis Modelización y análisis energético de configuraciones de Trigeneración en edificios, tesis doctoral en la Universitat Rovira i Virgili, en España, concluye que: la configuración de trigeneración ha sido integrada con un sistema de compresión de vapor para proveer electricidad, calor y refrigeración requerida en las cabinas de baja y media temperatura en un supermercado en Barcelona, España. El dimensionamiento de la configuración de trigeneración fue realizada utilizando la curva monótona de demanda obtenida a partir de un programa de simulación llamada Cybermart. En el estudio se utilizaron diferentes estrategias de operación para el sistema de trigeneración y distintos niveles de carga del motor (100, 75, 50 %) y la carga de refrigeración de las enfriadoras por absorción. También se realizó un análisis económico usando el período de retorno donde se obtuvo un tiempo

de 4.6 años en la mejor opción de funcionamiento. Igualmente, en el análisis de ciclo de vida en un período de 15 años, los costos del sistema convencional fueron alrededor de 1,943,000 € para el sistema convencional y alrededor de 1,830,000 € para el sistema de trigeneración. En el caso de las emisiones de CO<sub>2</sub>, se obtuvo un valor de 22.7 Tons CO<sub>2</sub> en comparación con un sistema convencional.

Mendoza, J. (2020) en su tesis Diseño de un sistema de poligeneración para una zona de la región pacífica colombiana, para optar el título de Ingeniero Mecánico en la Universidad Santo Tomas en Colombia, concluye: La implementación del sistema de poligeneración para Tumaco brindaría soporte a la red eléctrica del municipio, con la generación de 510,5 kW de potencia instalada y 445,27 MWh/mes, lo que representa el 22,6% del consumo energético total a la red eléctrica del municipio y el 30,25% de la generación que hoy en día se realiza mediante plantas Diesel. El sistema de poligeneración de Tumaco produciría un 1,05% de potencia instalada adicional en comparación con el Parque de Poligeneración Nazareth en La Guajira (650 kW). La desalinización de agua mediante OI proveería una mejora en el servicio de acueducto de Tumaco con el suministro de 355,7 m<sup>3</sup> /h, representando el 30% del consumo municipal; y que, en términos energéticos, consume 140,4 kW del sistema de poligeneración, lo que representa el 28,9% de la potencia del sistema

Portella, R. (2022) en su tesis Estudio de factibilidad de un sistema de poligeneración para un hotel de cinco estrellas en la ciudad de Trujillo (Perú), para optar el título de Ingeniero en energía en la Universidad de Tecnología e Ingeniería UTEC, Perú, determinó que un sistema de poligeneración, para un hotel cinco estrellas en la ciudad de Trujillo (Perú), es factible técnicamente y económicamente. La alternativa óptima para el sistema sigue la configuración planteada en el escenario 3; la cual está integrada por un MCI (128 kW), chillers de absorción SE HW (258 kW) y DE EG (176 kW), chiller eléctrico (148 kW), y colectores solares (49 kW). Con dicha configuración se logró reducir en promedio 27% el costo total anualizado en comparación al sistema convencional. Además, se obtuvo un Valor Actual Neto de 101 939 USD, Tasa interna de retorno de 20%, Payback de 5 años y LCOE igual a 141 USD/MWh.

Rojas, D. (2015) en su tesis Modelo para la síntesis óptima de sistemas de cogeneración bajo demanda variables en el tiempo de calor, electricidad y frío, para optar el título de Ingeniero mecánica en Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas en Cuba concluye: Con el uso de tecnologías de cogeneración se mejora la eficiencia del

sistema, disminuye el consumo de combustible y reduce la contaminación ambiental global. El empleo de procedimientos de optimización permite encontrar la configuración óptima de una planta, el dimensionado de los equipos y evaluar la mejor estrategia de operación. Se obtuvo el modelo físico por componentes del sistema siendo estos, módulos de cogeneración, calderas auxiliares, equipos de refrigeración por compresión, equipos de refrigeración por absorción, almacenamiento de frío.

Sánchez, L. (2010) en su tesis Modelos de poligeneración energética distribuida en áreas residenciales, para optar el título de Ingeniero Mecánico en la Universidad Politécnica de Madrid en España, resume lo siguiente: Se desarrolla la formulación de modelos energéticos de integración de generación distribuida (generación in situ por generadores térmicos y eléctricos) para consumo residencial en ciudades, tanto en función de su grado de cobertura mínimo o medio, como en sus diferentes configuraciones de instalación en función del entorno y del crecimiento urbano, a fin de hacer factible la incorporación de estos modelos energéticos. Las tecnologías de generación distribuida local CHP accesibles a nivel comercial Las aplicaciones de la formulación desarrollada se han efectuado para los casos más probables de suministro: Cobertura media de energía térmica para ACS y calefacción mediante cogeneración, cobertura base de energía térmica ACS y calefacción cogeneración y cobertura base de energía térmica ACS y calefacción cogeneración y energía solar térmica.

### **1.3 Justificación:**

Se justifica por lo siguiente:

El almacenamiento y su hibridación entre las tecnologías renovables y las convencionales tendrán un papel clave en la transición energética, desde gestionar la variabilidad de las energías renovables para un uso eficiente, así como obtener precios de mercado económicos para su implementación. La optimización de las instalaciones híbridas y de almacenamiento presenta un reto de optimización importante para hacerlas realmente eficientes, una optimización en la que el Big Data y la Inteligencia Artificial jugarán un rol muy importante.

El suministro energético a instalaciones productivas, de servicios y en general a sistemas de consumo de cualquier género y escala pasa por un adecuado proceso de proyección y evaluación de la viabilidad, así como la capacidad de satisfacer durante su vida útil las demandas de servicios energéticos para diferentes intensidades:

potencia eléctrica, refrigeración / climatización y calentamiento / calefacción. La utilización de sistemas combinados de suministro, o sistemas de poligeneración (incluyen los de cogeneración y trigeneración) son una alternativa para el suministro eficiente de la energía confiable y seguro, de muy bajo costo y efecto al medio ambiente.

La presente investigación pretende fundamentar los principios en el desarrollo y aplicación de herramientas tecnológicas de suministro hibridado en el campo de los estudios de oportunidad y factibilidad de proyectos de logística energética, tanto de carácter local o específico, como en acciones de planificación de políticas energéticas, y también en diferentes esferas de actividad.

Los sistemas de poligeneración ofrecen importantes ventajas y oportunidades viables para reducir las emisiones contaminantes, mejorar la eficiencia energética y favorecer el uso e integración de fuentes de energía renovable con bajo impacto ambiental y costes asumibles.

## **1.5 Hipótesis:**

Los sistemas de Poligeneración permiten la autogeneración de energía total en un centro de salud se caracterizan por estar conformados por un sistema de trigeneración de energía, colectores solares y tanques de acumulación de agua caliente.

## **1.6 Objetivos:**

### **Objetivo general**

Caracterizar el sistema de poligeneración, para la autogeneración de energía en un centro de salud

### **Objetivos específicos:**

- Caracterizar la carga eléctrica, térmica y de climatización.
- Determinar los arreglos del sistema de poligeneración para el autoabastecimiento total de energía en un centro de salud.
- Dimensionar el sistema de poligeneración para el autoabastecimiento de energía en un centro de salud.
- Estimar la reducción de energía primaria para la propuesta de implementación del sistema de poligeneración.

## **II. MARCO TEÓRICO.**

### **2.1 Integración Energética.**

#### **2.1.1 Fundamentos.**

El uso eficiente de la energía en un sistema térmico está determinado tanto por la Primera ley como por la Segunda Ley de la Termodinámica. La información que suministran el primer y el segundo principio de la Termodinámica, junto con el de conservación de la masa, se emplea en la evaluación del uso eficaz de la energía en las instalaciones industriales. Para mejorar la eficiencia energética en los procesos se debe considerar no solo el consumo eficaz de la energía sino también la capacidad de generar energía del proceso. La optimización del uso de la energía es esencial para lograr su uso eficiente, perfeccionando las configuraciones existentes de las plantas; implementando técnicas de integración de procesos se puede lograr este objetivo. (Cruz, et al., 2021)

La integración de procesos agrupa un conjunto de herramientas que ofrecen al ingeniero un enfoque estructurado mediante el cual se logran identificar ineficiencias en un proceso y se seleccionan las mejores oportunidades para su mejoramiento. A partir de la perspectiva de la integración de los recursos, la IP se puede clasificar en integración energética e integración másica. (Cruz, et al., 2021)

La IP es una de las tareas más complejas y exigentes confrontada por el ingeniero en energía. Desde un punto de vista de los especialistas en la materia, el uso de técnicas de integración de procesos se introdujo lentamente como consecuencia de las condiciones cambiantes en la producción industrial y el surgimiento de grandes avances productivos y tecnológicos. En ese sentido, conviene aclarar que la mayoría de los procesos térmicos industriales actuales surgieron hace mucho tiempo, cuando no existían métodos sistemáticos para la generación de las estructuras óptimas de los mismos (Velásquez, 2020)

La integración energética constituye una etapa fundamental en el diseño de una nueva planta o en la optimización de una ya existente, haciendo énfasis en el uso eficiente de la energía y en la reducción de los efectos medioambientales. Con ella se logra incrementar la eficiencia del sistema en estudio al maximizar el uso de la

energía producto de la recuperación y minimizar la utilización de portadores energéticos empleando alguna de sus dos herramientas fundamentales: el análisis Pinch y la programación matemática. (Cruz, et al., 2021)

En integración energética se define como corriente aquella que, conservando su masa y composición, cambia su valor energético (temperatura o estado de agregación) desde la salida de una operación hasta la entrada de otra. Si una corriente másica no pasa a través de un equipo de transferencia de calor (intercambiador, condensador, evaporador, enchaquetado, serpentín, turbina, caldera u otro similar) donde cambie su valor energético, no puede considerarse una corriente energética. En integración energética, el dato más importante de una corriente es su valor energético (entalpía, calor específico, calor latente, etc.). (Aguilar, et al., 2016)

La eficiencia energética puede definirse como la reducción del consumo de energía de los sistemas, manteniendo los mismos servicios energéticos, sin disminuir los estándares de calidad de vida, protegiendo el medio ambiente, asegurando el abastecimiento, fomentando la sensibilización y comportamientos de uso racional. La reducción de la intensidad energética es un objetivo prioritario para cualquier economía, sin afectar el volumen de actividad. Uno de los parámetros que determinan la correlación entre consumo de energía y crecimiento económico es la evolución de la intensidad energética, indicador general que señala la relación entre consumo de energía y Producto Interior Bruto (PIB). (Castillo, 2010)

### **2.1.2 Tecnología pinch.**

El Análisis Pinch (o de Punto de Pliegue), desarrollado por Linnhoff y Hindmarsh (1983), es un método termodinámico y sistemático en el cual se busca el ahorro de energía utilizando las corrientes propias del proceso con la intención de minimizar los servicios, tanto de calentamiento como de enfriamiento. La integración térmica en intercambiadores se basa en la conservación de la energía dentro de los procesos. Este método divide a grandes rasgos el desarrollo en dos partes:

La búsqueda del punto Pinch y de los servicios mínimos que se utilizarán.

El desarrollo de la Red de Intercambio Térmico que satisfaga los nuevos servicios. (Pedraza, 2017)

Utilizando la tecnología Pinch, es posible identificar los cambios apropiados en las condiciones de proceso que pueden tener un impacto en el ahorro de energía (capas de cebolla uno y dos). Después de establecer el balance de Materia y Energía, los objetivos para el ahorro de energía deben ser definidos antes del diseño de la red intercambio de calor. El Método Pinch de Diseño asegura que estos objetivos se alcancen durante el diseño de la red. Los objetivos también se pueden establecer para las cargas de servicios en los distintos niveles (por ejemplo: corrientes de vapor y refrigeración). Los niveles de servicios suministrados al proceso puede ser parte de un sistema centralizado (por ejemplo: el área del sistema de vapor). (Visbal y Proaño, 2014)

La “Tecnología Pinch” presenta una metodología para el análisis sistemático de los procesos químicos y los servicios auxiliares con la ayuda de la Primera y Segunda Ley de la Termodinámica. Con la ecuación de energía de la Primera Ley de la Termodinámica se calculan los cambios de entalpía en las corrientes que pasan por los intercambiadores de calor. La Segunda Ley determina la dirección del flujo de calor, es decir, el calor sólo puede influir en la dirección de caliente a frío. En la práctica una corriente caliente sólo puede ser enfriada a una temperatura definida por el acercamiento mínimo de temperaturas (mínima diferencia permitida,  $\Delta T_{min}$ ) del intercambiador. El nivel de temperatura en el cual  $\Delta T_{min}$  se observa en el proceso, es llamado “Punto Pinch”.(Visbal y Proaño, 2014)

La integración de calor busca que la energía de las corrientes con altas temperaturas que necesitan ser enfriadas y/o condensadas sea utilizada por aquellas corrientes de menor temperatura que requieran ser calentadas y/o vaporizadas (Linhoff & March, 1998). Al inicio del proceso de integración, se conoce la temperatura inicial, la temperatura objetivo así como las demandas energéticas de cada corriente. Al inicio del diseño de procesos es común que no se tome en cuenta la importancia de la demanda energética que el sistema requiere, esto con la finalidad que después sea aplicada la integración de calor sintetizando una red de intercambio térmico (Grossman & Duran, 1984). Cuando se lleva a cabo el diseño, conociendo las condiciones de las corrientes, es deseable considerar la parte económica dentro del desarrollo de las Redes de Intercambio Térmico. Un punto importante es que una

Red de Intercambio Térmico se diseña con el uso mínimo de servicios externos, usualmente requiriendo un mayor número de intercambiadores. (Pedraza, 2017)

El diseño de una RIT utiliza la menor cantidad de servicios de enfriamiento y calentamiento posibles, debido a eso la máxima aproximación entre la diferencia de temperaturas nunca debe de ser debajo de un valor mínimo. Es por eso que debe establecerse un valor mínimo de diferencial de temperaturas (  $\Delta T_{min}$  ) el cual normalmente se considera como 10°C según la eficacia de intercambio de calor entre materiales. (Pedraza, 2017)

### **2.1.3 Autoabastecimiento de energía.**

El autoabastecimiento de energía eléctrica está referida a la producción de electricidad propia mediante unidades de generación de energía convencional o no convencional. Estas unidades de generación de energía impulsan a un alternador (monofásico o trifásico) que suministra la energía necesaria para las distintas aplicaciones industriales y comerciales. El autoabastecimiento permite una autonomía en la generación de energía eléctrica, caracterizándose en la producción de energía eléctrica sostenible de calidad y segura. Dentro de esta categoría se encuentran la tecnología de la cogeneración, generación distribuida, los sistemas RER on y off grid y la generación de energía con grupos electrógenos. (Carranza, 2021)

El principal tipo de energía en la actualidad es la energía eléctrica, la cual es necesaria en un país para su desarrollo, por ende, su uso se hace ineludible para su crecimiento desde un punto de vista social, tecnológico, económico y entre muchos otros. Destacando su importancia, se puede entender lo indispensable para la sociedad y por lo tanto existe una regulación que tiene como base brindar un servicio de calidad a sus clientes. El problema actual concerniente al tópico de generación, se centra en la fuente usada para su desarrollo, clasificados en dos grandes grupos, de generación convencional y no convencional. La mayor cantidad de electricidad en la actualidad se genera en grandes plantas las cuales tienen como principales fuentes los combustibles fósiles (gas, carbón, diésel) además de grandes centrales

hidroeléctricas, que entregan energía al sistema interconectado con un flujo unidireccional. (Montalbán, 2021)

El suministro convencional o tradicional de energía está referido a aquel cuyas características son las siguientes:

- Suministro de energía eléctrica se realiza a través de la venta de energía desde una red de distribución o transmisión al usuario, mediante precios regulados o pactados libremente. En este caso la energía fluye desde el generador a través del sistema interconectado o un sistema aislado hacia una red de distribución, siendo este último generalmente el que realiza la comercialización de la energía y la potencia. Un Cliente libre de electricidad es aquella planta consumidora de energía P.C.E que tiene una máxima demanda igual o mayor a 2.5 MW, mientras que un Cliente regulado está definido como aquel consumidor con un consumo de hasta 200 KW. Mientras que en el rango superior a 200 KW hasta un límite de potencia de 2.5 MW, una P.C.E consumidora puede elegir estar entre la categoría de cliente libre o cliente regulado. (Guevara, 2020)
- Suministro de combustible, lo realizan las empresas comercializadoras de combustibles, tal como PECSA, Costa Gas, Energigas, etc., las cuales comercializan GLP, GNC, Petróleo R500 o Biodiesel. (Guevara,2020)

*Figura 1*

Esquema de suministro convencional de energía a un centro de consumo de Energía



*Nota.* Información tomada de Modulo de Tecnología energética de Guevara (2020)

Autogeneración eléctrica: Esta referido a los centros de consumo de energía que poseen un grupo electrógeno del tipo PRIME o CONTNUO, con el cual se genera una parte o la totalidad de demanda energética requerida para una planta consumidora de energía y así poder realizar sus actividades económicas. Se presentan las siguientes alternativas:

- Generación total de energía, en los casos que las instalaciones están aisladas de las redes eléctricas.
- Generación de electricidad en casos de emergencia, ante cortes de fluido eléctrico.
- Generación parcial de electricidad en horas de mayor demanda.
- Generación parcial de energía, operando en simultaneo con la red exterior de abastecimiento de energía eléctrica. (Guevara, 2020)

Figura 2

Esquema de suministro convencional de energía con respaldo con grupo electrógeno



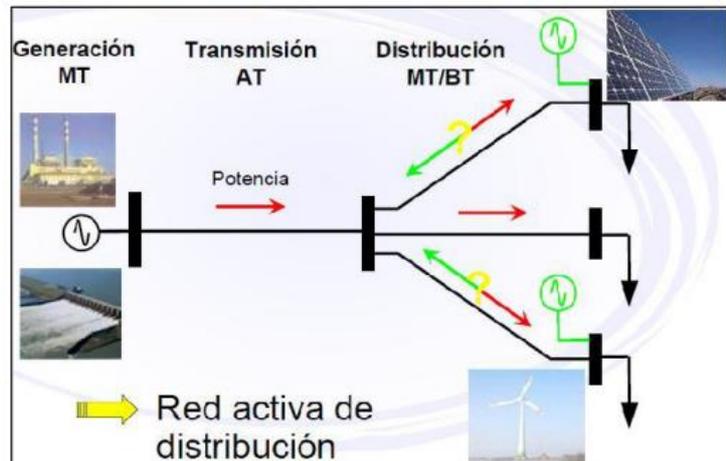
Nota. Información tomada de Modulo de Tecnología energética de Guevara (2020)

La generación distribuida es un método de abastecimiento de energía que se caracteriza por la existencia de un cierto número de micro generadores de energía ubicados en una cierta localidad, los cuales generan energía para el flujo de energía desde la red eléctrica externa o proveniente de un sistema de generación mayor. Reducción de las pérdidas de energía en la red externa por el transporte. Generación

in situ y cerca de los puntos de consumo y empleo de combinada con pequeños generadores termoeléctricos e hidroeléctricos de ser el caso. (Montalbán, 2021)

Figura 3

Diagrama de un sistema de generación distribuida



Nota. Información obtenida de Montalbán (2021)

La generación distribuida representa una opción tecnológica en el cambio del abastecimiento de electricidad que de forma convencional proviene de una red grande que es alimentada por grandes centrales de generación. Permite la optimización de recursos de energía y mejora la calidad de la energía en parámetros de frecuencia, voltaje, armónicos que por lo general provienen de la red externa. El concepto de generación distribuida es diverso, pero tiene por fin la generación de múltiples centrales de energía residenciales y de pequeñas empresas de servicios y producción las cuales contribuyen con la sostenibilidad energética de una determinada zona geográfica. (Gasco, 2013)

Se destaca tres aspectos importantes:

- El desarrollo de tecnologías renovables.
- La reducción de las inversiones de los sistemas de transmisión.
- La seguridad de suministro de electricidad. (Gasco, 2013)

Los sistemas térmicamente activos esta referido a aquellos sistemas de calefacción y climatización acoplados a la arquitectura de un edificio. Estos sistemas

intercambian calor mediante radiación y tienen la capacidad del almacenamiento de calor dentro de la masa térmica de la estructura del edificio o residencia. Para el empleo de sistemas térmicamente activos TABS toma un rol importante el diseño de la edificación, la masa térmica que permitirá que el sistema contenga el cambio de temperatura dentro de un ambiente, almacenándose o liberándose el calor de la estructura. El flujo de calor perdido o absorbido permite la reducción de la carga máxima y orientar el consumo energético en períodos de alto rendimiento o de bajo precio energético. La inercia térmica de un edificio es un aspecto a tener en cuenta cuyo empleo con sistemas activos presenta ventajas para controlar el confort en la parte interna y permite la disminución del consumo energético. (Guerrero,2020)

La demanda de un sistema se refiere a la carga requerida en los puntos de consumo medidos por lo general en el tiempo de una hora. El tiempo en el que se asigna el valor promedio se llama rango de demanda y es determinado según su característica de uso, determinándose este, según una constante térmica de los equipos o el periodo de durabilidad de la carga. (Sandoval, 2021)

La carga es puntual como es el provocado por las máquinas de soldar o arranque de motores (en el sector domésticos los sistemas de refrigeración y los equipos de sonido ejercen una importante contribución a tener en cuenta). La carga total estará afectada por el factor de simultaneidad que tiene como máximo valor 1, que aumenta o reduce la carga instantánea. La definición de una demanda requiere determinar el rango de demanda, debido a que sin el valor asignado establecido no tiene valor aplicable. (Sandoval, 2021)

El valor de la máxima demanda histórica esta referida al valor que con mayor intensidad se emplea para la planificación de crecimiento de un sistema energético. La terminología demanda por lo general se emplea por la máxima demanda para el periodo de tiempo en análisis. Por lo tanto, se requiere determinar con exactitud la máxima demanda de una carga eléctrica, térmica o frigorífica, es útil determinar la máxima demanda de un punto de consumo en el caso de que la factura del consumidor se incremente mensualmente. La identificación de la mayor demanda en un determinado tiempo para un punto de consumo y su impacto en el sistema

eléctrico es relevante, dado que la demanda máxima del conjunto incidirá en la capacidad que necesite el sistema. (Sandoval, 2021)

El factor de uso de un sistema es la relación entre la demanda máxima y la demanda nominal del sistema. Este factor también llamado factor de utilización es porcentual; por tanto, la demanda máxima y la nominal requieren expresarse en las mismas unidades. Por lo tanto, si el factor de demanda representa el porcentaje de potencia instalada que se suministra, el factor de uso enuncia que porcentaje de la capacidad máxima del sistema está empleándose durante el momento que ocurre la máxima demanda. (Sandoval, 2021)

## **2.2 Cogeneración.**

### **2.2.1 Fundamentos.**

La cogeneración es una técnica para generar energía, que se fundamenta en generar de forma simultánea y coordinada de electricidad con calor para los procesos, obteniéndose vapor saturado o agua caliente sanitaria en los centros hospitalarios; en la mayor parte se aprovecha el flujo de calor sensible de un líquido a temperatura superior a la ambiental como recurso energético secundario, de procesos asociados principalmente a la generación de electricidad. Las plantas de cogeneración poseen eficiencias muy superiores a los sistemas tradicionales, recuperándose el calor remanente y disminuyendo de esta manera las pérdidas energéticas, generando considerables reducciones de energía primaria, lo que se traduce en la disminución del consumo de combustible, disminución de la facturación y de emisiones de gases a la atmosfera. (Rojas, 2021)

Las ventajas de implementar la cogeneración son:

- Reducción de emisiones al medio ambiente, especialmente CO<sub>2</sub>, debido a la reducción de consumo de combustible proveniente de hidrocarburos, los cuales son los generadores del calentamiento global.
- Permite el aprovechamiento del flujo de calor residual, generado durante la producción de energía eléctrica.
- Utilización óptima de la energía eléctrica debido a que la cogeneración se produce cerca de los puntos de consumo, evitándose distorsiones de carácter

eléctrico, como las caídas de tensión frecuencia, armónicos, flickers, así como disminuyen las pérdidas por calentamiento de conductores en las redes eléctricas. En las redes eléctricas se ha estimado un valor de pérdidas entre los 20 a 25% de la electricidad generada durante la transmisión y distribución de energía. (Carranza, 2021)

- Aprovechamiento de los gases de combustión se e pueden emplear como fuente energética útil en las máquinas de refrigeración por absorción, lo cual es conocido como tecnología de Trigeneración energética.
- En la generación tradicional de electricidad la recuperación de la energía del combustible, es por lo general entre 30% al 35%, mientras que lo restante se pierde con los gases de combustión calientes hacia el medio ambiente. Con los sistemas de cogeneración se consigue grados de recuperación de energía entre 75% y el 80%.
- El ahorro de los recursos energéticos es en promedio de 35%, debido a la generación simultánea del flujo de calor para proceso industrial y la energía eléctrica disminuyen las unidades energéticas entrantes en los centros de consumo en comparación a los sistemas tradicionales. (Carranza, 2021)

El dimensionamiento de una central de cogeneración, debe incluir la determinación del motor primo de generación a utilizar, su capacidad y arquitectura, así como el tipo de combustible a emplear, requiere el análisis del objetivo de los componentes para todas las arquitecturas masi como de sus modos de operación (limite técnico mínimo de operación, arranque en frio, operación a carga parcial, en operación a máxima capacidad). (Ramos, 2012)

Los sistemas de cogeneración se dimensionan teniendo en cuenta las características de demanda de cada instalación, con lo cual se pueda cubrir las curvas de demanda eléctrica y térmica a diversas condiciones de trabajo, incluyendo las posibles contingencias no previstas, para una autogeneración segura y confiable. Se enuncian los criterios de modulación:

Cobertura de la demanda de electricidad y un adicional de combustible para generar la carga remanente de calor.

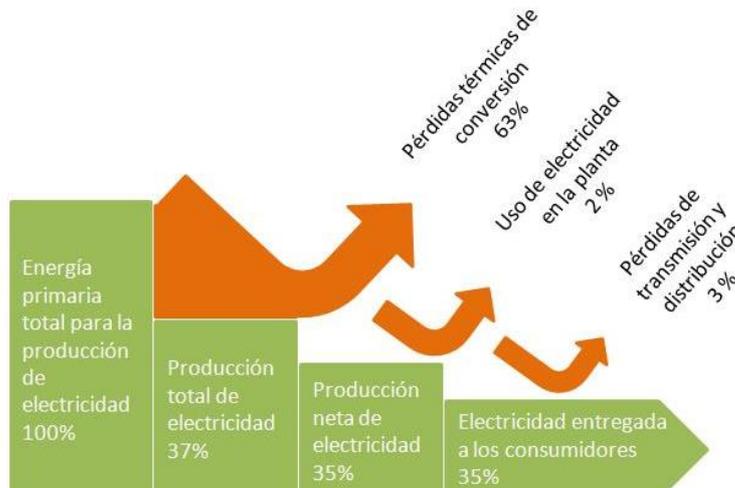
Cobertura de demanda de electricidad y térmica en 100%.

Cobertura de demanda eléctrica y térmica con inyección de excedentes a la red.

Cobertura del 100% de demanda de calor y compra del déficit de electricidad a la empresa de distribución para abastecer la demanda eléctrica. (Aguilar, 2021)

Figura 4

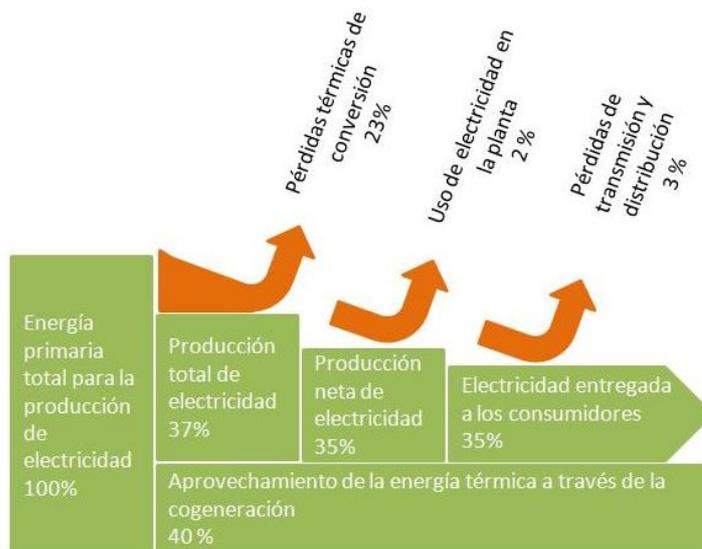
Flujo de Energía de un sistema de Generación de Energía convencional de una PCE



Nota. Información obtenida de Tesis de Cam & Chunga (2013)

Figura 5

Flujo de Energía con sistema de cogeneración de una PCE



Nota. Información obtenida de Tesis de Cam & Chunga (2013)

### **2.2.2 Configuraciones de arreglos de cogeneración.**

Según el sistema de cogeneración requerido, se disponen de diversas configuraciones con los equipos disponibles. El arreglo del sistema dependerá de los requerimientos de la empresa donde se instalará. Se enumera lo siguiente:

- Capacidad de planta.
- Tipo de combustible y su cadena de logística.
- Flujo de calor del proceso o temperatura del fluido de proceso a utilizar.
- Normativas de emisiones.
- Tecnología de equipos.
- Inversiones. (Carranza,2021)

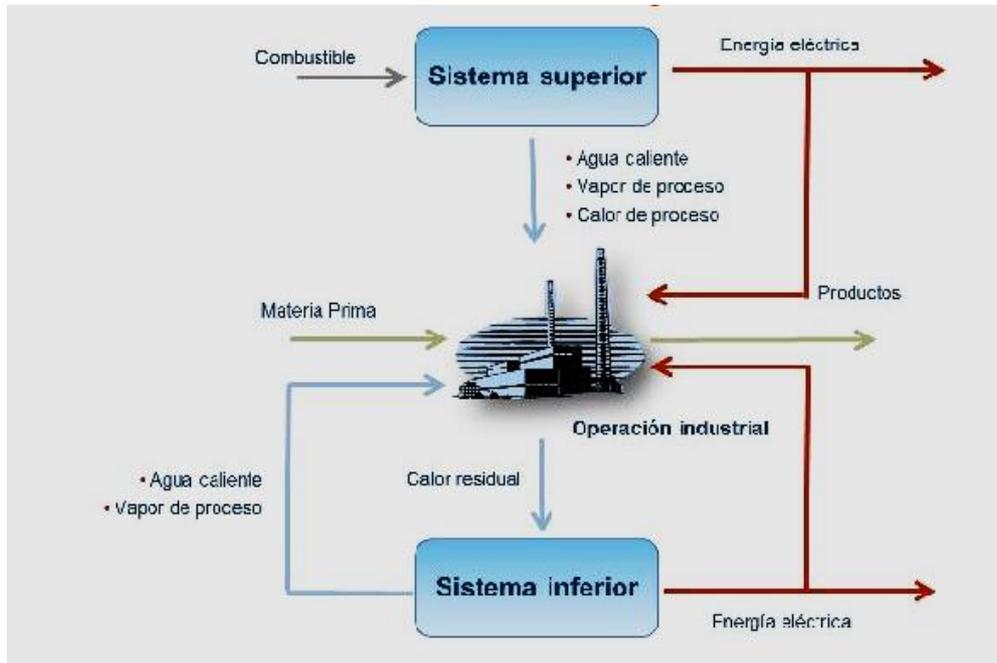
Ciclos superiores o topping cycles: En estos sistemas la generación de energía eléctrica se efectúa en un primer nivel de energético. Mientras que los flujos de calor residuales generalmente de los gases de escape se aprovechan para generar un fluido caliente apto para ser empleados en los diversos procesos de las plantas industriales o servicio. Estos sistemas de cogeneración se emplean en instalaciones que requieren bajos valores en sus temperaturas de proceso como lo son: la industria cerveza, papelera, química, textiles, cervecera, lácteos, agroindustria, harinas, así como en instalaciones que necesiten de agua caliente. Difiere de las centrales de ciclo combinado, porque en estas últimas se emplean los gases de la combustión para generar vapor sobrecalentado para el accionamiento de una turbina de vapor de varias etapas y generar un segundo nivel de energía eléctrica. (Cam & Chunga, 2013)

Ciclos inferiores o Bottoming cycles: producen electricidad como consecuencia del empleo de energía térmica remanente en los procesos dentro los centros de consumo, tal como los gases calientes salientes de hornos de gran capacidad. Se emplean las industrias de producción de cemento, acero, metalúrgicas, siderúrgicas, azucareras y en plantas petroquímicas. El empleo de la energía calorífica de gases calientes de los hornos, secadores o en otros equipos generadores de calor con el empleo de combustibles representan una importante fuente recuperadora de calor residual ya que en procesos en los cuales se utilizan técnicas de recuperación para aprovechar valores de temperatura entre los 300 a 800 °C y flujos masicos superiores a los emitidos por

los calderos acuotubulares, debido a que los primeros equipos cuentan con elevados valores de exceso. (Cam & Chunga, 2013)

Figura 6

Configuraciones de los sistemas de cogeneración



Nota. Información obtenida de Cogenera-México (2014)

### 2.2.3 Tecnologías de cogeneración.

Se tienen las siguientes tecnologías:

#### a. Tecnologías empleando turbinas a vapor:

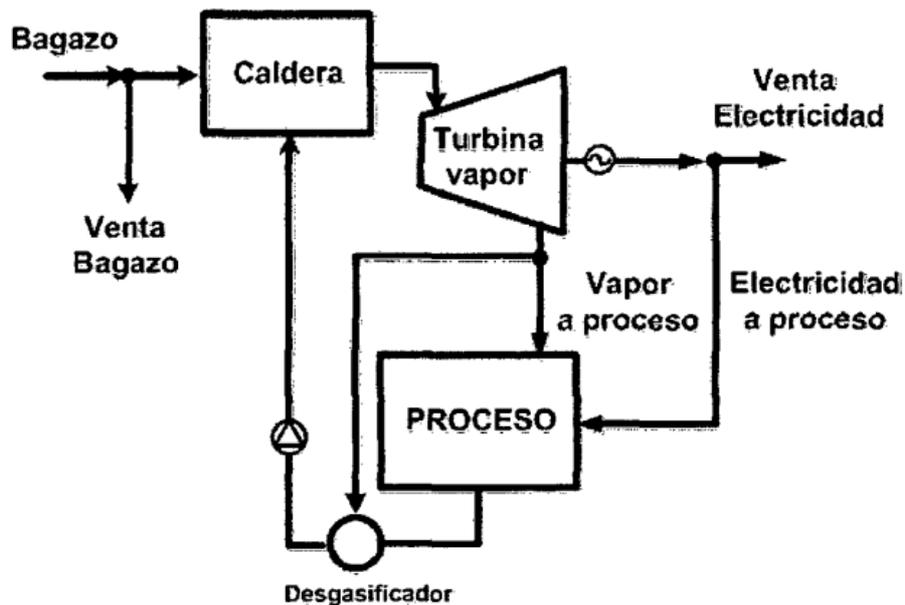
Las turbinas de vapor están acopladas directamente a un generador eléctrico o un sistema de propulsión. Las turbinas de vapor normalmente producen electricidad en turbinas de vapor de condensación en centrales termoeléctricas y en turbinas de vapor de contrapresión en sistemas de cogeneración. (Cam & Chunga, 2013)

Las turbinas de vapor se basan en el “Ciclo de Rankine”. El agua es impulsada desde una bomba e impulsada a una presión intermedia, en función a las condiciones de generación del caldero acuotubular. Luego, el agua tratada químicamente se calienta alcanzando su temperatura de cambio de fase y se sobrecalienta hasta un valor máximo de 540°C. El vapor sobrecalentado a alta presión se expande a una presión menor dentro de una turbina multietapa y luego se deriva hacia un condensador al

vacío, o un aerocondensador, luego se extrae vapor intermedio para su empleo industrial. Luego el condensado se recircula mediante una bomba para la cerrar el ciclo termodinámico. (Cam & Chunga, 2013)

*Figura 7*

Cogeneración con turbina de vapor de contrapresión



*Nota.* Información obtenida de la tesis de Quesquén & Sánchez (2014)

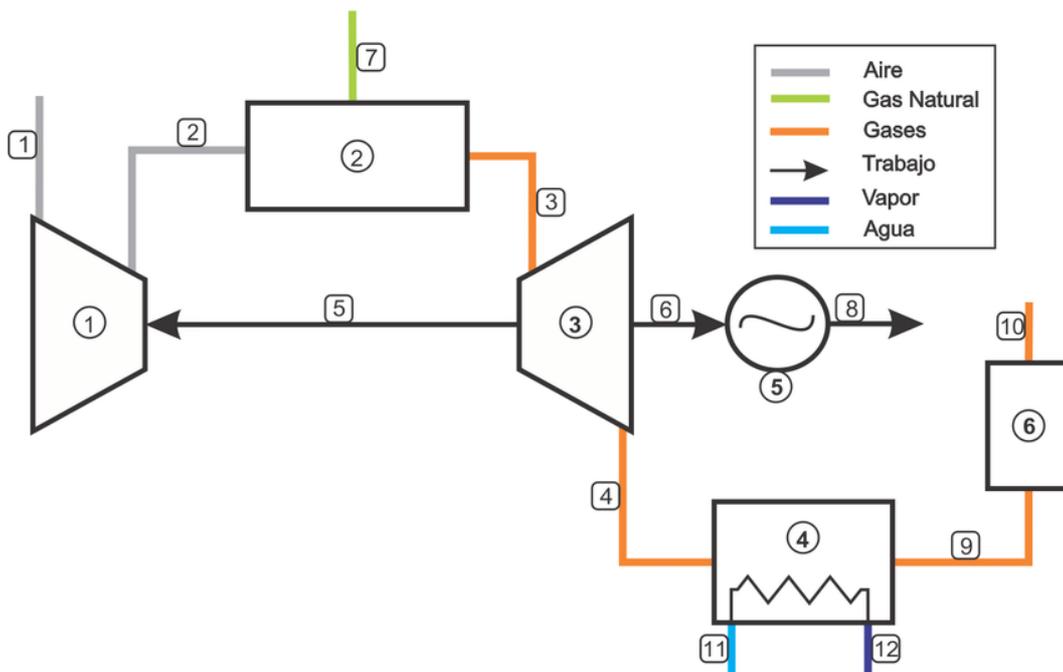
b. Tecnologías empleando turbinas a gas:

Las turbinas de gas fundamentan su operación según el ciclo de Joule Brayton. El aire previamente filtrado es comprimido mediante un compresor axial de múltiples etapas calentándose y comprimiéndose a presiones desde 9 a 26 bares, siendo derivado a la cámara de combustión donde reacciona con el combustible inyectado alcanzando el valor de temperatura más alta, esta combustión se realiza con elevados excesos de aire (250-380 %), y posteriormente se expanden dentro de la turbina hasta un valor superior a la presión atmosférica. La energía eléctrica se genera debido a un generador eléctrico que es impulsado directamente por la turbina. Parte de la potencia desarrollada por la turbina de gas se emplea para accionar al compresor de aire. (Cam & Chunga, 2013)

Las tecnologías implementadas en las centrales con turbinas de gas, tienen por objetivo principal la disminución de emisiones de  $\text{NO}_x$ , a través de quemadores y cámaras de combustión. Del mismo modo empleo de materiales de alta resistencia térmica a la fatiga a alta temperatura, corrosión le permite mayores temperaturas de operación, del mismo modo se emplean sistemas de refrigeración de alabes con aire comprimido. Del mismo modo en la arquitectura básica del ciclo termodinámico se implementó tecnologías de recuperación de energía térmica para generar agua caliente o vapor saturado que se inyecta en la cámara de combustión, con el consiguiente incremento de flujo masico de gases para aumentar su potencia generada. Es utilizada en plantas del tipo topping cycles desde 100 kW hasta 250 MW, siendo el gas natural por sus características técnicas, el combustible ideal para su uso. (Cam & Chunga, 2013)

Figura 8

Cogeneración con turbina de vapor de gas



Nota. Información obtenida de la tesis de Ramos (2014)

c. Tecnologías que emplean motores de combustión interna:

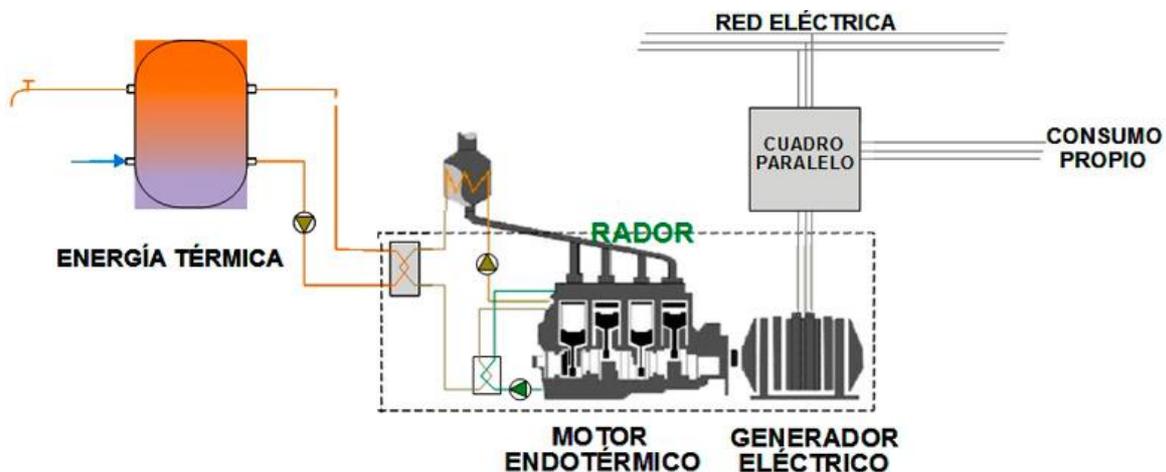
Estos se clasifican en dos tipos: motor ciclo Otto y el motor ciclo Diesel. En esencia ambos tipos de ciclos presentan idénticos componentes y sistemas que permiten su operatividad, sobre todo en la forma como se realiza la combustión por medio de la

reacción de un combustible que se transforma en movimiento alternativo y circular en un cigüeñal. (Rojas, 2021)

El pistón acoplado a la biela y este al árbol cigüeñal, permiten la transformación del desplazamiento alternativo del pistón en movimiento circular en el cigüeñal. La diferencia entre los ciclos Otto y Diesel esta referida al método de combustión dentro de la cámara, en el caso del ciclo Otto se emplea una bujía para inflamar una mezcla aire con combustible, por otro lado en el ciclo Diesel, el aire dentro de la cámara se comprime hasta un valor elevado, alcanzándose la temperatura de inflamación del combustible. Por lo general se tienen unidades entre 5 kW a 10 MW operando como Ciclo superior, con combustibles diversos, desde gas natural, biodiesel, biocombustibles, etc. (Rojas, 2021)

*Figura 9*

Cogeneración con motores de combustión interna



*Nota.* Información obtenida de CONAE México (2014)

d. Tecnologías de microcogeneración con motor Stirling:

Hay un tipo de cogeneración adecuada para la vivienda: la micro cogeneración. Se trata de equipos de pequeña potencia (de menos de 50 kW) que pueden ser adaptados con facilidad y bajo costo a las instalaciones domésticas de agua caliente sanitaria y de calefacción. Estos mecanismos que ya existen en países como Inglaterra o Alemania, están llegando a nuestro país. Un motor Stirling es un motor térmico operando por compresión y expansión cíclica de aire u otro gas, el llamado fluido de

trabajo, a diferentes niveles de temperatura tales que se produce una conversión neta de energía calorífica a energía mecánica. Más específicamente, un motor térmico de ciclo cerrado regenerativo con un fluido gaseoso permanente, donde el ciclo cerrado es definido como un sistema termodinámico en el cual el fluido está permanentemente contenido en el sistema, y regenerativo describe el uso de un tipo específico de intercambio de calor y almacenamiento térmico, conocido como el regenerador. Esta inclusión de un regenerador es lo que diferencia a los motores Stirling de otros motores de ciclo cerrado. (Cam & Chunga, 2013)

#### **2.2.4 Cogeneración aplicada a centros de salud.**

Los motores de combustión interna son plantas energéticas de gran uso en las unidades de cogeneración implementadas en centros de atención sanitaria, hoteles u empresas del sector terciario, que emplean combustibles gaseosos y líquidos, su eficiencia varía entre 27-32% en mci que admiten aire a presión ambiental, y 48% para mci con sobrealimentación. (Aguilar, 2021)

Se cuentan con los sistemas recuperadores siguientes:

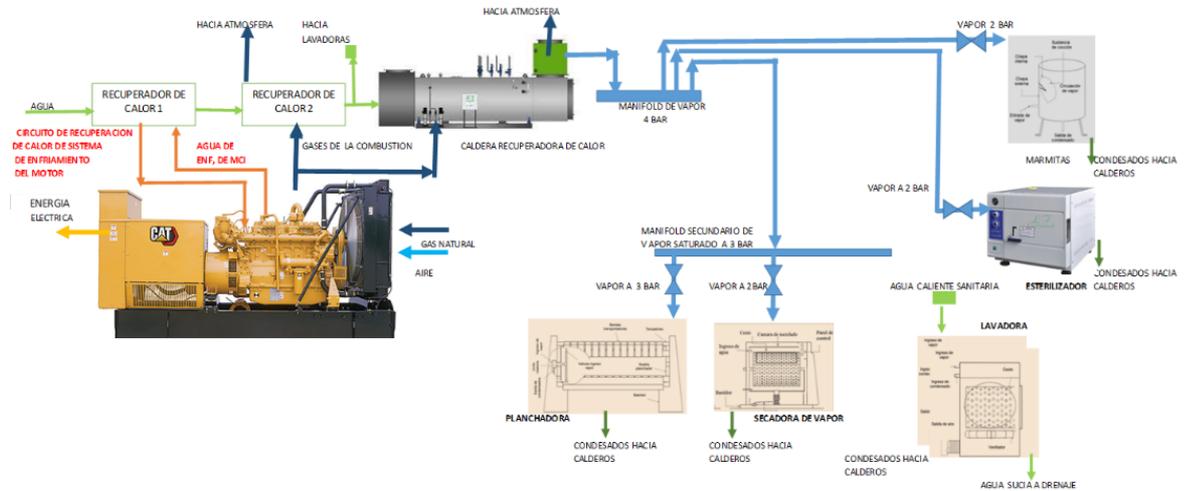
- Enfriamiento del aire en un refrigerador en motores con sobrealimentación.
- Sistema de enfriamiento del aceite lubricante del mci. (70-75°C).
- Sistema de enfriamiento del agua de refrigeración del mci. (110-90°C).
- Sistema de recuperación de gases salientes del múltiple de escape (entre 450-550°C), siendo el sistema de mayor gradiente de recuperación de calor sensible debido a su temperatura. El arreglo de una planta de cogeneración se adecua con facilidad a aquellos centros de consumo que se caracterizan por requerir agua caliente y vapor saturado. (Aguilar, 2021)

Los gases de la combustión expulsados desde el múltiple de escape impulsados por la energía cinética desarrollada durante la combustión y por efecto del ascenso del pistón, expulsándose a temperaturas de 450 °C y 550 °C. El calor sensible se recupera por medio de cambiadores de calor agua/gases, representando entre el 25% a 35% del flujo de calor que suministra el combustible. Los m.c.i para una adecuada operación necesitan de 2 circuitos de enfriamiento. El primero funciona entre 88 °C y 100 °C, y el segundo circuito entre 60 °C a 40 °C según la arquitectura del mci. Los circuitos

de enfriamiento refrigeran las paredes de la cámara a través de holguras practicadas en el mci, el aceite de lubricación y el aire de admisión a través de intercambiadores de calor. La energía térmica disipada desde el mci a la atmosfera, se emplea en las centrales de cogeneración empleando recuperadores térmicos y se estima que representan cerca del 27% a 35% del flujo de calor suministrado por el combustible. (Aguilar, 2021)

Figura 10

Cogeneración aplicada a centros de salud



Nota. Información obtenida de la tesis de Aguilar (2021)

Un recuperador de calor es un aparato térmico que aprovecha la diferencia de temperaturas entre dos fluidos, permitiendo de este modo recuperar la energía térmica residual en los gases calientes de la combustión los cuales se emiten a alta temperatura, para ello se produce agua caliente con fines terapéuticos y vapor saturado para sus sistemas auxiliares. Un recuperador de calor permite el intercambio de calor desde los gases de escape hacia el aire de la combustión, generando un incremento adicional de calor, reduciéndose en un pequeño porcentaje el consumo de combustible. Están fabricados de aleaciones de acero de alta conductividad térmica. (Aguilar, 2021)

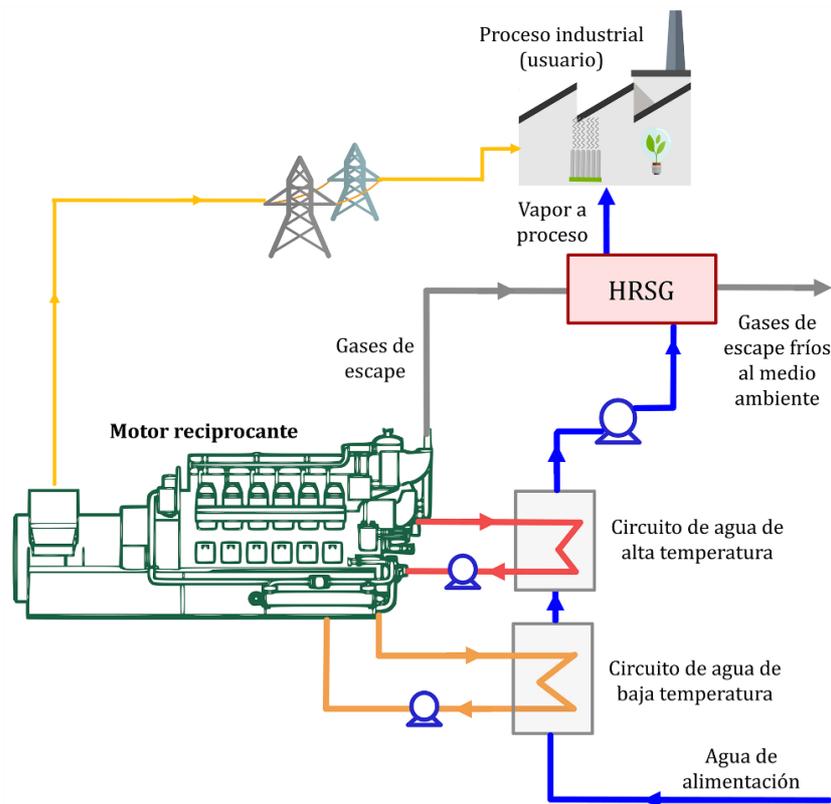
Los gases calientes se emiten a alta temperatura lo cual permite su aprovechamiento para lo cual la temperatura máxima permitida para los gases calientes provenientes del petróleo es de 180°C, mientras que para combustibles gaseosos es de 110°C, antes

de que forme lluvia acida. En este caso el gas natural permite un mayor gradiente de temperatura por recuperar y sobretodo tiene un menor factor de emisiones con respecto a los combustibles líquidos. (Erices, 2014)

Los circuitos de enfriamiento están clasificados según el tipo de fluido empleado para el enfriamiento de los componentes del motor, pudiendo ser agua para los casos de motores de mayores dimensiones, y aire para el caso de motores con menor capacidad y de 2 tiempos. En algunos casos se emplea un líquido anticongelante. La temperatura óptima para un aceptable desempeño y no comprometer los materiales es entre 90° C y los 110°C. En el caso del agua este es enfriado mediante un ventilador accionado por el mismo motor mediante convección forzado dentro del radiador. (Ramírez, 2016)

*Figura 11*

Disposición de sistemas de recuperación de calor



*Nota.* Información obtenida de CONAE México (2019)

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

En los circuitos de agua caliente sanitaria la temperatura se mantiene entre los 60 a 100 °C, dentro de sus redes de consumo o en depósitos acumuladores de agua caliente debidamente aislados. Las variaciones en la demanda de agua caliente, requiere de un sistema de gestión que permitan mantener un margen acumulado de agua para poder satisfacer la demanda en forma instantánea. El agua caliente sanitaria se obtiene mediante el calentamiento indirecto en intercambiadores de calor, en donde un fluido caliente cede su calor sensible al agua o también se realiza en calentadores eléctricos (los cuales presentan un alto costo operativo). Para que un sistema de preparación de agua caliente sanitaria cumpla satisfactoriamente con su función, es esencial que se suministre una potencia calorífica suficiente ya sea en forma de calor de reacción de un combustible o calor sensible de gases calientes a lata temperatura, compensada por una acumulación térmica del caso para prevenir casos de variación de la demanda. (Aguilar, 2021)

#### **2.2.4 Cogeneración calificada.**

En el Perú referente a Cogeneración se promulgo el REGLAMENTO DE COGENERACION, el D.S N° 037-2006 del 07.07.2006, el cual tiene 2 modificatorias el D.S N° 082-2007 (24.11.2007) y el D.S N° 052-2009 (20.06.2009). En este Reglamento se establece los requisitos y condiciones para que las Centrales de Cogeneración Calificadas puedan inyectar sus excedentes de energía y potencia al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional. (Minem, 2006)

Siendo las principales características las siguientes:

- Según lo dispuesto por la Ley N° 27133 “Ley de Promoción del Desarrollo de la Industria de gas Natural, el costo unitario de compra aplicado a Empresas cogeneradoras que empleen Gas Natural, lo adquieren a un costo unitario idéntico al adquirido por las empresas de generación.
- Las plantas cogeneradoras calificadas tienen prioridad durante el despacho de energía, en el caso de que presentes excedentes de electricidad durante la producción de potencia efectiva y su costo variable no deberá ser tomada en consideración en el cálculo del Costo Marginal de Corto Plazo
- Tiene libertad de acceso a las redes de las empresas distribuidoras, considerándose para el pago del peaje por el VAD según el nivel de tensión y el peaje a la conexión a las Redes principal de Transmisión.
- La comercialización de sus excedentes de energía y potencia al mercado mayorista de electricidad o clientes libres.
- Está facultado para la comercialización de excedentes de energía y potencia a otros generadores, empresas de distribución. (Minem, 2006)

Para solicitar la Calificación, los representantes de las plantas cogeneradoras deben cumplir los parámetros de calificación similares o mayores a los detallados en la tabla 1 en función al tipo de tecnología empleada relacionada a la maquina motriz.

*Tabla 1*

Parámetros de Calificación para Centrales de Cogeneración

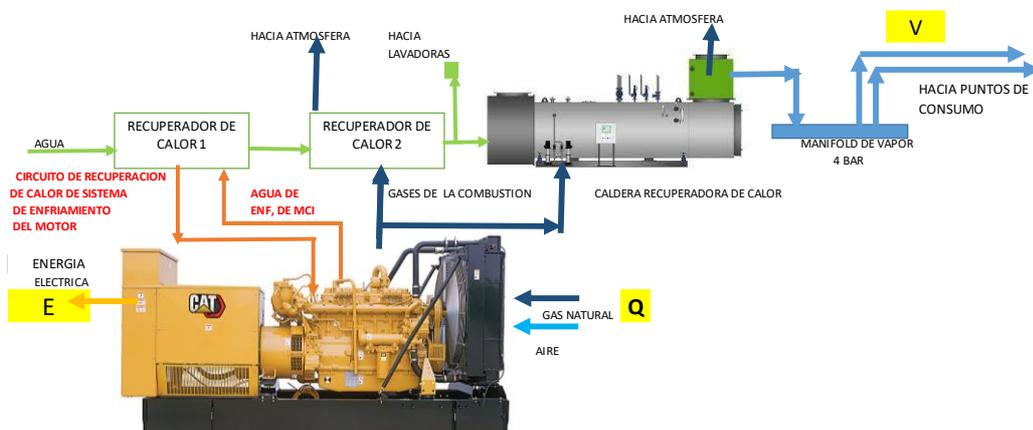
Tecnología/Combustible	Rendimiento Eléctrico Efectivo REE	Relación de Cogeneración $C=E/V$
Turbina de Vapor de Contrapresión	0.70	0.15
Turbina de vapor de condensación	0.68	0.30
Turbina de gas ciclo simple	0.55	0.40
Turbina de gas ciclo combinado	0.55	0.50
Motores de Combustión Interna	0.55	0.60
Biomasa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

*Nota.* Extraída del D.S N° 037-2006 EM

Para las plantas de Cogeneración que posean una potencia efectiva inferior o similar a 3 MW, el Rendimiento eléctrico efectivo mínimo es diez por ciento menor al indicado en la tabla anterior. Esto permitirá una mayor alcance y posibilidad de optar por la cogeneración a las empresas de baja demanda eléctrica. De otro modo se requiere un gran volumen de gas natural para poder implementarlas, ya que cogenerar con combustible líquido resulta antieconómico. La calificación se certifica con la operación máxima carga durante 2 horas de operación continua.

Figura 12

Esquema de cogeneración calificada



Nota. Obtenida del Módulo de Tecnología Energética de Guevara (2023)

Se definen los siguientes parámetros para el cumplimiento del proceso de calificación según D.S N° 037-2006 EM:

Relacion de cogeneración: Tomando como referencia la figura 12, la relación de Cogeneración esta referida a aquella entre la Potencia efectiva medida en el alternador y la Potencia térmica útil empleada en los procesos propios de los centros de consumo energético. Un valor alto del indicador detalla que es preponderante la generación eléctrica sobre la demanda de energía térmica, y la central se asemeja a un Sistema Topping Cycles.

C = Relación de Cogeneración.

$$C = \frac{E}{V} \dots \dots \dots (1)$$

Rendimiento eléctrico efectivo: Según la figura 12, este indicador de calificación es la inversa de la eficiencia convencional y compara la producción de generación de electricidad con la diferencia con el flujo de calor suministrado a la planta cogeneradora con el flujo de calor que se suministra en la generación del flujo de calor útil a través de un caldero acuotubular convencional cuyo rendimiento es el máximo posible.

$$REE = \frac{E}{Q - \frac{V}{0.9}} \dots \dots (2)$$

Dónde:

Q = Potencia térmica o Calor suministrado por el combustible en los generadores de vapor

V = Es la Potencia térmica o el calor útil proporcionado en este caso por el vapor en los centros de consumo.

E= Es la Potencia eléctrica generada en bornes del generador eléctrico,

## 2.3 Trigeneracion.

### 2.3.1 Fundamentos.

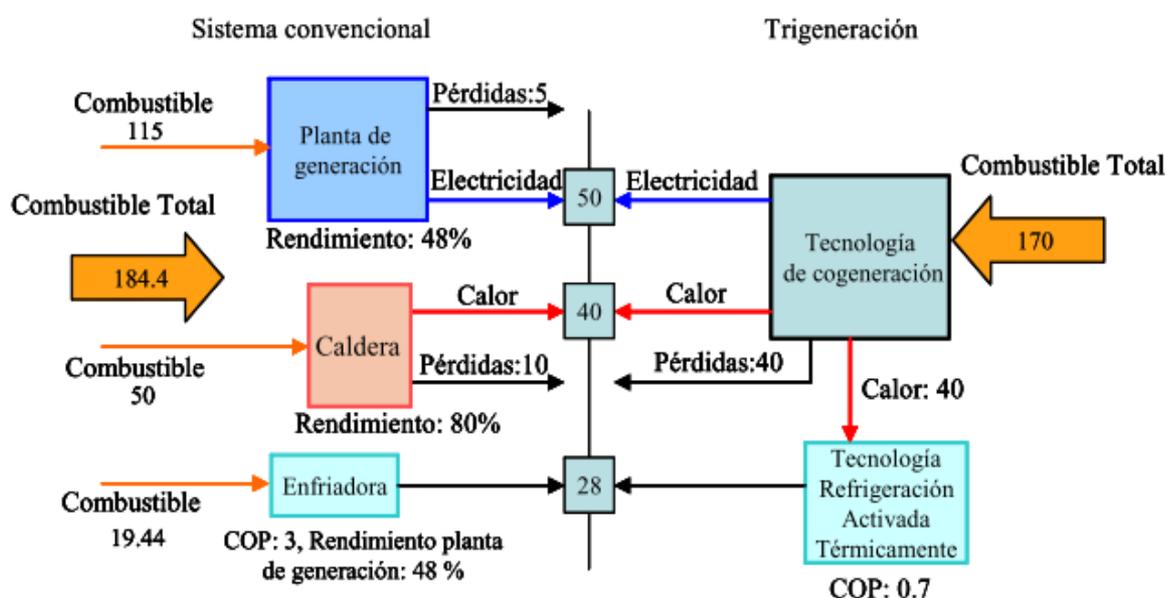
La Trigeneración de energía es una tecnología complementaria a la cogeneración en el que se obtiene un fluido a baja temperatura, energía eléctrica y calor de procesos, a partir de una fuente de energía. Por lo tanto, consiste en el acoplamiento tecnológico de los ciclos de refrigeración por absorción con los sistemas de cogeneración con el objetivo de producir en forma conjunta y continua de energía térmica para procesos, frío industrial y energía eléctrica. Los sistemas de trigeneración se fundamentan en la generación distribuida, que consiste en ubicar dentro de una zona geográfica reducida un conjunto de micro generadores de energía, con el objetivo de que la generación de energía este cerca del consumidor. (Arias & Espinoza, 2013)

La trigeneración se define como la generación combinada y simultánea de energía eléctrica, energía térmica y un fluido a baja temperatura empleándose un único combustible, de forma similar a las centrales térmicas convencionales con turbinas

a gas, turbinas a vapor y motores endotérmicos. Las plantas de trigeneración incluyen el empleo de 2 tecnologías: cogeneración convencional y refrigeración por absorción. A través de la primera se genera energía eléctrica asociado a la generación de energía térmica y con la segunda, se genera un fluido a baja temperatura para diverso tipo de usos desde acondicionamiento hasta refrigeración en cámaras de congelamiento, generadores de agua helada o procesos cercanos a los criogenicos. (Crispín y Haro, 2015)

Figura 13

Esquema de trigeneracion con sistemas convencionales



Nota. Información obtenida de la tesis de Marimon (2011)

Convencionalmente la energía empleada en las plantas consumidoras se abastecía por separado, de tal forma que la energía eléctrica proviene de la red externa, mientras que la energía térmica se obtiene por lo general a través de calderos pirotubulares, mientras que el frío industrial o climatización se genera mediante sistemas de refrigeración por compresión, que requieren electricidad para operar los compresores. Las plantas de trigeneración poseen ventajas tecnológicas, económicas y medioambientales, entre estas destaca un mayor rendimiento térmico global. (Arias & Espinoza, 2013)

Las unidades de trigeneración presentan diversos componentes, como los equipos de cogeneración de diversa tecnología según el tipo de motor primo, así como las máquinas de refrigeración por absorción que requieren de calor residual para operar económicamente. La temperatura y el valor del calor remanente dependerán de la potencia del sistema de cogeneración. Para cubrir la demanda de energía térmica de una casa empleando trigeneración se utiliza el calor residual que proviene del sistema de cogeneración. (Crispín y Haro, 2015)

La Trigeneración a conseguido a través de la cogeneración posicionarse técnicamente, debido a que de forma convencional los sistemas de refrigeración por absorción empleaban vapor de calderos para su funcionamiento, lo cual lo hacía técnicamente inviable por el costo del combustible; ahora la trigeneración aprovecha el calor remanente de la cogeneración para abastecerse de energía térmica en su generador para separar el refrigerante del absorbedor. Con lo cual se hace viable los proyectos de trigeneración. Otro agente energético a emplear es la energía térmica obtenida mediante sistemas solares térmicos. (Heredia, 2020)

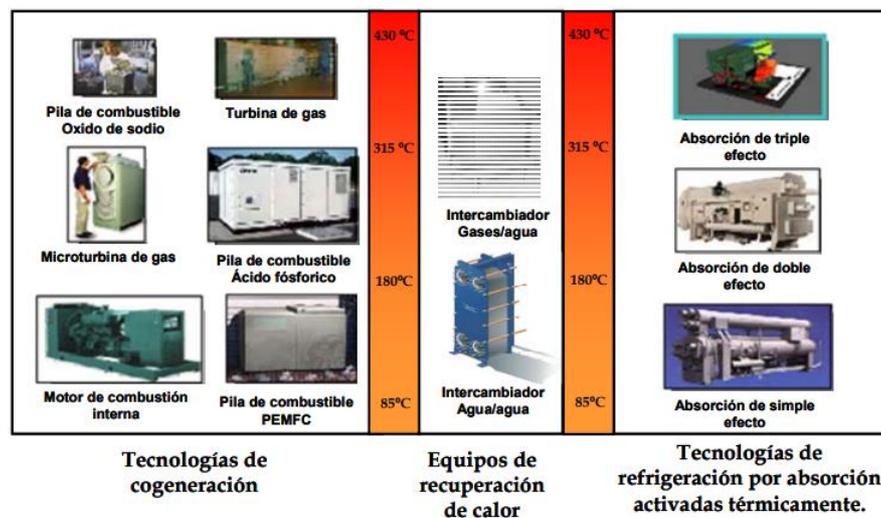
La generación de una temperatura fría en un fluido se emplea en la climatización de edificios de forma eficiente mediante tecnologías eficientes. La gestión e integración de recursos energéticos naturales en edificios residenciales permite junto con la arquitectura el diseño de edificios eficientes en su aspecto constructivo, ya que toma como base la importancia del uso de la energía. Los edificios y espacios urbanos intercambian calor por convección natural con el medio que les rodea. Los factores que intervienen son el cielo, el aire, el agua y el relieve del terreno, del mismo modo la humedad relativa. (Guerrero, 2020)

El dimensionamiento energético se asocia al empleo eficiente de los recursos energéticos in situ tal como la radiación solar, la velocidad del viento, la temperatura ambiental, el agua, la biomasa, etc. Las tecnologías para la refrigeración, constan de tecnologías pasivas para climatización que permiten mantener el confort térmico con un bajo costo por consumo de energía. (Guerrero, 2020)

El elevado calor específico del agua comparado con el valor del aire, conlleva a que este fluido sea de especial interés para emplearse como fluido energético de alta calidad. La capacidad calórica del agua le permite transportar altos volúmenes de flujo masico a una temperatura considerable. El empleo del agua como fluido energético se realiza en aquellos sistemas donde el intercambio térmico se ejecuta por medio sistemas tradicionales tal como fancoils y sistemas de climatización distribuidos. En el empleo de sistemas activados térmicamente es de vital importancia el empleo de nuevos materiales para que faciliten el intercambio térmico, incrementándose la transferencia de calor y evitándose la acumulación energética en los sistemas. (Guerrero, 2020)

Figura 14

Integración de equipos de recuperación y de refrigeración térmica en los sistemas de cogeneración en función de la temperatura del calor residual.



Nota. Información obtenida de la tesis de Marimon (2011)

Los arreglos de las unidades de trigeneración se clasifican en básicos y avanzados. En el caso de los arreglos básicos está relacionado a aquellas en la cual el equipo de refrigeración se activa indirectamente usando recuperadores de calor. Estos equipos emplean por lo general agua caliente o aceite térmico como fluido energético, habiendo incrementado el valor de su temperatura debido al aprovechamiento del calor remanente de los gases de escape y del agua caliente proveniente de las chaquetas del mci. Se utilizan sistemas de recuperación de calor tales como

cambiadores de calor tipo aire/agua, aire/aceite, agua/agua para producir agua caliente o aceite térmico; o generadores de vapor recuperadores de calor.

Por su parte, las configuraciones de trigeneración avanzadas son aquellas en donde los equipos de refrigeración térmica se activan directamente usando los gases de escape del sistema de cogeneración o de forma simultánea utilizando directamente los gases de escape y el agua caliente proveniente de las camisas de refrigeración del motor. En la Figura 14 se muestra un esquema general de las posibles configuraciones de trigeneración formadas por tecnologías de cogeneración, equipos de recuperación de calor y tecnologías de refrigeración por absorción activadas térmicamente, dependiendo del nivel de temperatura del calor residual disponible.

### **2.3.2 Sistema de refrigeración por absorción de Agua que emplean bromuro de litio.**

Los sistemas de refrigeración por adsorción se caracterizan por el hecho de que el refrigerante es absorbido por un absorbente en el lado de baja presión del sistema y es liberado en el lado de alta presión; la ventaja derivada de estos procesos adicionales es que el trabajo suministrado al sistema sólo necesita ser el suficiente para bombear un líquido desde la región de baja presión hasta la de alta del sistema. Se ha demostrado ampliamente que el trabajo necesario para para bombear una masa determinada de gas o de vapor es mucho mayor que el necesario para bombear una masa igual de líquido. (Ballestas, 2012)

Los sistemas de refrigeración por absorción se basan fundamentalmente en la capacidad que tienen ciertas sustancias para absorber calor al pasar de un estado a otro (de líquido a gaseoso). El resultado de dicha absorción será la producción de frío. Un ejemplo de ello es el bromuro de litio (LiBr) el cual en su fase líquida absorbe vapores de otras sustancias tales como el agua y amoníaco. Debido a su alta capacidad para absorber agua y deshidratarse mediante calor, así como a su alta eficiencia, el ciclo LiBr/ H<sub>2</sub>O (bromuro de litio – agua) es el más empleado en la actualidad. También se pueden clasificar dependiendo de si obtienen la energía térmica de una corriente de aire o de agua. Las máquinas de absorción que utilizan agua están acopladas a una torre de refrigeración que tiene por función recircular y

enfriar el agua de enfriamiento para regresarla nuevamente al circuito de proceso. (Rubio, 2019)

Comercialmente los sistemas de absorción están clasificados en relación a los distintos indicadores de operación, siendo el principal el número de generadores. Según ello tenemos lo siguiente:

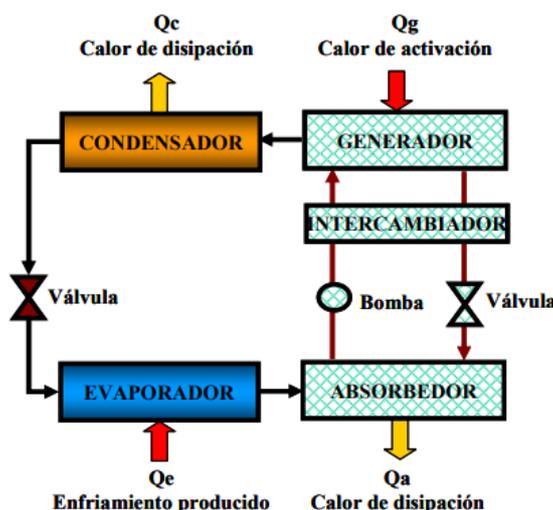
Máquina de simple efecto: compuesta por 1 generador.

Máquina de doble efecto: compuesta por 2 generadores.

Máquina de triple efecto: compuesta por 3 generadores. (Rubio, 2019)

*Figura 15*

Esquema de refrigeración por absorción con BrLi.



*Nota.* Información obtenida de la tesis de Marimon (2011)

### 2.3.3 Sistema de refrigeración por absorción con BrLi de simple efecto.

En estos sistemas el agua actúa como refrigerante y el bromuro de litio cumple la función de absorbedor. El bromuro de litio puro es de naturaleza sólida, pero al mezclarse con un alto volumen de agua, puede llegar a formar soluciones homogéneas de alto contenido energético. Por lo tanto, empleando una nomenclatura adecuada referida a una solución concentrada, entonces se refiere a una rica en bromuro de litio. Así tenemos para una solución agua-bromuro de litio con concentración del 60% a  $43.3^{\circ}\text{C}$ , se tiene una presión de vapor absoluta de 6.9

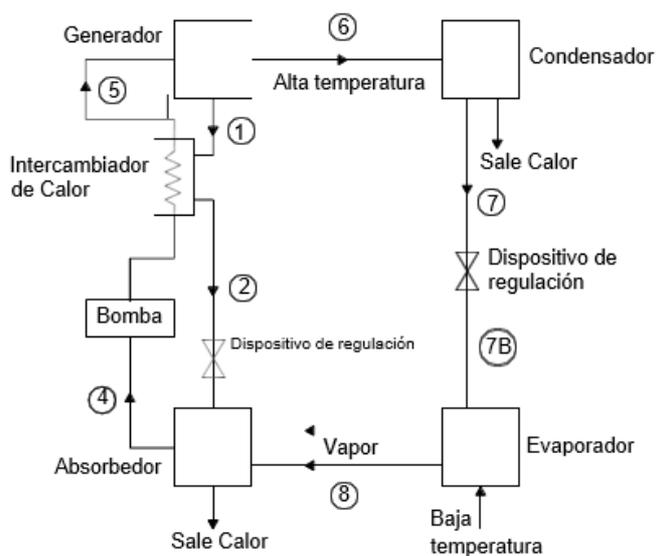
mmHg, la cual es lo suficientemente baja para poder enfriar agua hasta un valor de 5°C. (Rodríguez, 2008)

Los sistemas de absorción se modelizan de tal forma que el absorbedor y el evaporador, que operan a la presión menor del sistema, se coloquen en la parte inferior del equipo, confinados dentro de una coraza común. Mientras que el generador y el condensador, que operan a una presión mayor, cerca de 75 mmHg, se instalan en la parte superior de la máquina. Se requiere la instalación de unidades de purga para disipar el aire que se infiltra en estas máquinas que función al vacío, y de alguna forma retirar gases acumulados que puedan producir descomposición química. La temperatura dentro del evaporador esta sobre los 0°C, lo cual les una limitante para el sistema de climatización u otras aplicaciones. (Rodríguez, 2009)

La característica sobresaliente de estos sistemas, es que el BrLi no es volátil. Desde el generador solo sale vapor de agua, por lo cual no requiere de un rectificador para purgar agua. En comparación a la máquina que emplea amoniaco-agua, el sistema con BRLi+H2O es sencillo y presenta un COP superior en 10% al sistema convencional con absorción.

*Figura 16*

Circuitos de operación de un sistema de refrigeración por absorción con BrLi.

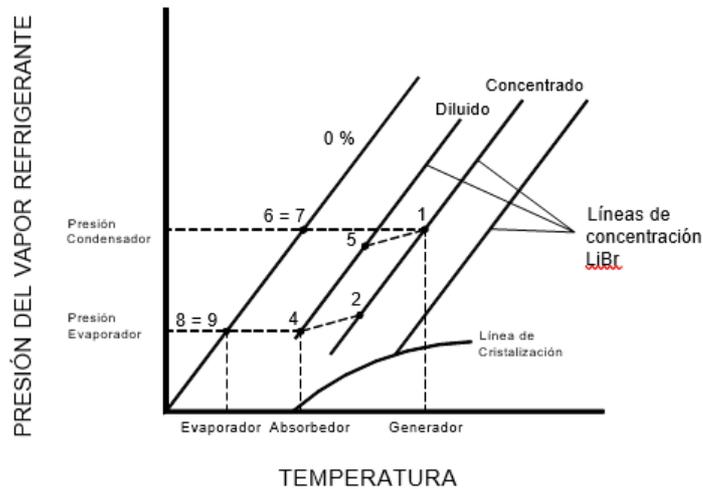


*Nota.* Información obtenida de la tesis de Rodríguez (2009)

La figura 17 presenta los puntos de los diversos estados en un diagrama presión - temperatura en el ciclo básico de una máquina de absorción.

*Figura 17*

Diagrama P vs T para el sistema de refrigeración por absorción con BrLi



*Nota.* Información obtenida de la tesis de Rodríguez (2009)

La trayectoria del flujo para esos esquemas es como sigue:

1-2 La solución concentrada (1), en condiciones a la presión del condensador, se extrae desde el generador; la solución se enfría en un cambiador de calor, que tiene por finalidad la transferencia de calor desde la solución concentrada a la solución diluida, con el objetivo de disminuir la cantidad de calor que requiere el generador, así mismo reduce la cantidad de calor que es expulsado desde el absorbedor. Luego ingresa al absorbedor (punto 2) fluyendo primero a través de una válvula de expansión. (Rodríguez, 2009)

2-4 La solución concentrada realiza la absorción del vapor refrigerante sometido a baja presión (8) dentro del absorbedor, el cual involucra al proceso de intercambio de masa y energía dentro de el mismo. Es relevante saber que la presión del vapor de la solución en el absorbedor, es inferior a la presión del evaporador; presentándose en los casos cuando la temperatura de la solución tiene un valor bajo. El evaporador asegura una completa mezcla entre los fluidos de operación, y cumple

con la función de remoción de calor de la solución liberada en el proceso de absorción. (Rodríguez, 2009)

4-5 La solución diluida es impulsada hacia el generador desde el cambiador de calor, precalentándose (5) por medio de la solución saliente del generador.

5-6 La solución diluida (5) ingresa al generador, donde se adiciona calor con la finalidad de liberar el refrigerante, el cual posee un menor punto de ebullición que el bromuro de litio (6), liberándose de esta forma el vapor de agua y aumentando el grado de concentración de la solución. Este proceso tiene los siguientes pasos:

- Variar la temperatura de la solución ingresante al generador.
- Disolver la asociación entre el refrigerante y el absorbente.
- Variar la temperatura del líquido refrigerante resultante a un valor igual al de su temperatura de saturación.

Por lo cual la solución concentrada sale desde el generador, e impulsado hacia el absorbedor (1). (Rodríguez, 2009)

6-7 El vapor del refrigerante a alta presión (6) es licuado en el condensador (7) por efecto de la temperatura del agua del condensador que fluye de manera indirecta e intercambiando calor.

7-8 El refrigerante líquido se expansiona en el evaporador, donde ebulle a baja presión (debido a la acción mecánica de la válvula de expansión, aunque esto también se consigue empleando una tobera multiperforada o por medio de un disco perforado) y temperatura, tomándose el calor del espacio refrigerado. El vapor del refrigerante (8) es absorbido por la solución de bromuro de litio en el absorbedor (3). (Rodríguez, 2009)

La solución diluida se retira desde el absorbedor en el estado 4 con una baja concentración de bromuro de litio baja, mientras que la solución que sale del generador en el estado 1 tiene una concentración de bromuro de litio alta. En este caso la solución concentrada es rica en absorbente y la solución diluida es la que contiene los dos fluidos de trabajo. El transportar absorbente caliente del generador hacia el interior del absorbedor desperdicia una considerable cantidad de energía térmica. Un intercambiador de calor líquido-líquido transfiere energía desde esta

corriente a la solución de refrigerante-absorbente que es bombeada de regreso al generador, ahorrándose energía. El empleo del intercambiador de calor de líquido presenta una alta eficacia por los materiales de las que está fabricado. (Rodríguez, 2009)

*Figura 18*

Características típicas de las enfriadoras de agua/bromuro de litio de simple efecto

Características de funcionamiento	
Vapor de accionamiento (kPa)	160 a 180
Consumo de vapor por kW de refrigeración (kW)	1.48 a 1.51
Agua caliente de accionamiento (°C)	115 a 132 (88 °C para pequeñas potencias)
Potencia térmica de activación por kW de refrigeración (kW)	1.51 a 1.54, y hasta 1.43 kW para pequeñas potencias
Agua de enfriamiento, Temp. de entrada (°C)	30
Caudal de agua por kW de refrigeración (ml/s)	65, 115 para máquinas pequeñas
Temperatura del agua fría (°C)	6.7
Caudal de agua fría, por kW de refrigeración (ml/s)	43 para máquinas pequeñas
Potencia eléctrica, por kW de refrigeración (W)	3 a 11 con un mínimo de 1 kW para máquinas pequeñas

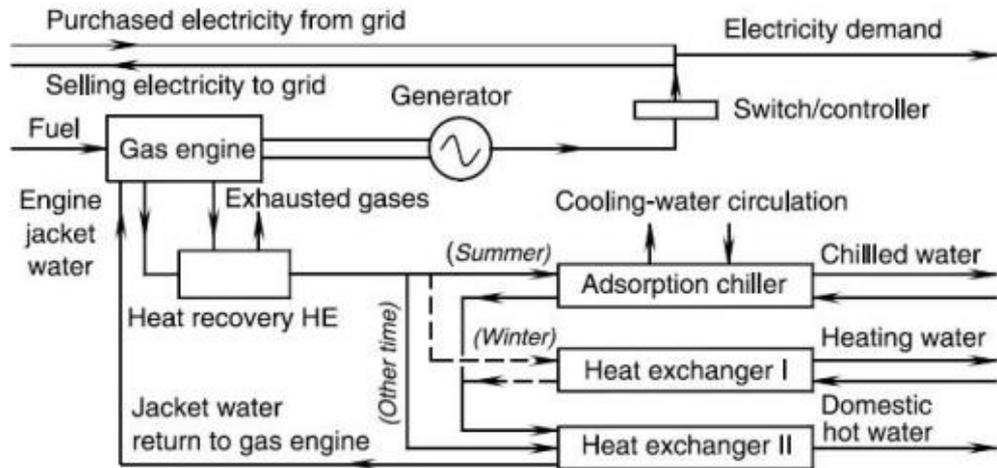
*Nota.* Información obtenida de la tesis de Marimon (2011)

#### 2.3.4 Trigeneración de energía con motores de combustión interna.

Por otra parte, en la Universidad Jiao Tong, se ensayó una configuración de trigeneración básica para aplicaciones domésticas y pequeños comercios. El sistema integra un motor de combustión interna, un sistema de recuperación de calor y una enfriadora de adsorción. Los resultados experimentales demostraron que el sistema puede proveer una potencia eléctrica de 16 kWe, 10 kW de frío y 35 kW de potencia térmica. En esta configuración, el agua caliente de las camisas ingresa en un intercambiador de calor en el cuál la temperatura es aumentada con el calor de los gases de escape, que circulan en el otro lado del intercambiador, para luego activar la enfriadora de agua por adsorción. La eficiencia global del motor fue de 75 %. (Marimon, 2011)

Figura 19

Diagrama de la configuración de trigeneración ensayada en la universidad de Jiao Tong.



Nota. Información obtenida de la tesis de Marimon (2011)

## 2.4 Poligeneración.

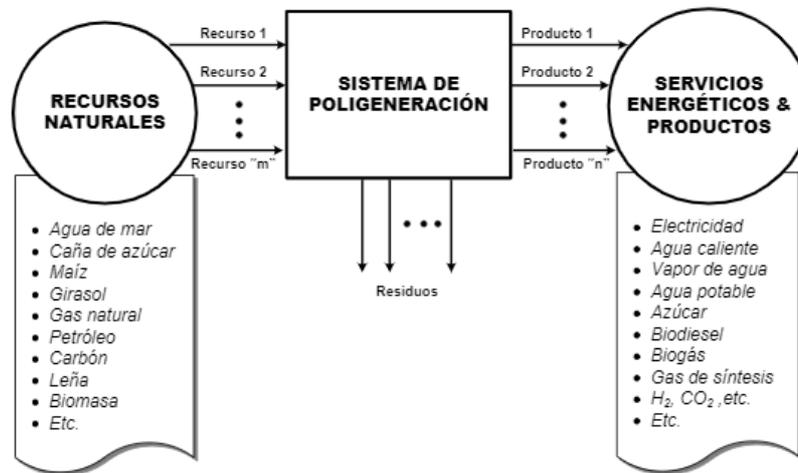
### 2.4.1 Fundamentos.

Es una tecnología avanzada que consiste en la generación simultánea de dos a más insumos o productos energéticos, a través del consumo de dos o más recursos energéticos primarios entrantes a un centro de consumo de energía. En el caso del sector terciario se le denomina como tecnología de poligeneración, al suministro continuo de energía eléctrica, climatización, energía térmica de procesos u otro tipo de energía útil. (Portella, 2022)

La poligeneración es una tecnología de muy alta eficiencia que permite la obtención conjunta de varios insumos energéticos, que se realiza simultáneamente de tal forma que se optimiza el aprovechamiento del nivel energético de los recursos de energía empleados. Los arreglos o arquitectura de los sistemas de poligeneración se incluye a las plantas de cogeneración, trigeneración, tratamiento químico de agua, aire comprimido, generación de dióxido de carbono, biocombustibles y otras aplicaciones. (Fuentes, 2017)

Figura 20

Poligeneración: proceso de transformación multirecurso y multi-producto



Nota. Información obtenida de la tesis de Ramos et al. (2008)

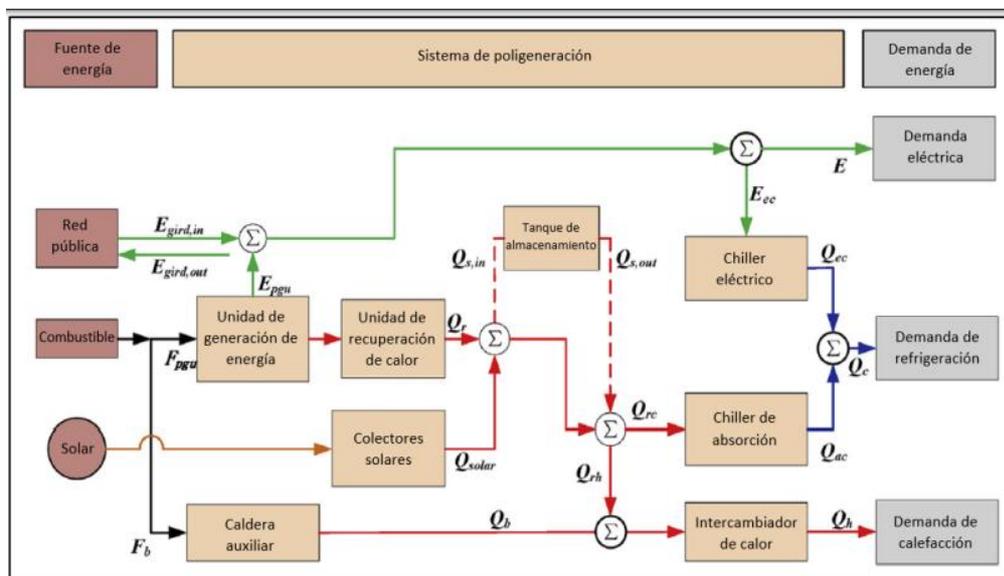
Las plantas de poligeneración aplicados en el sector residencial-comercial se conforman por unidades de trigeneración, que trabajan en forma conjunta con sistemas de captación de energía solar térmica con calentadores de agua. Este sistema se le denomina sistema de trigeneración híbrido (solar hybrid CCHP system). En la figura 21 se esquematiza un sistema de poligeneración que tiene como motor primo a un mci acoplado con colectores solares para operación en conjunto, del mismo modo están instalados depósitos de almacenamiento de agua caliente. Los colectores solares conforman junto a la unidad de trigeneracion una unidad de alta eficiencia y empleo óptimo de los recursos energéticos. (Portella, 2022)

Las plantas de poligeneración tienen la capacidad para la generación de 4 insumos energéticos en forma simultánea tal como: energía eléctrica, calor de procesos, fluido energético a una temperatura inferior a la temperatura ambiental y agua desalinizada. Actualmente han mejorado su arquitectura con la implementación de energías renovables, destacándose la poligeneración solar, la cual involucra los procesos de calentamiento de agua para hoteles, asilos y centros de salud (en este último caso para obtener agua caliente sanitaria para fines terapéuticos). Con lo cual su cálculo para diseño debe contemplar incluso los tanques acumuladores de agua

caliente junto con la planta de trigeneración de tal manera que el consumo de energía primaria sea el óptimo. (Felbol, 2016)

Figura 21

Sistema de poligeneración con MCI y colectores solares



Nota. Información obtenida de tesis de Portella (2022)

Las plantas de poligeneración se representan con todos sus componentes, tal como el sistema de cogeneración, trigeneración, y las unidades adicionales tal como sistemas de desalinización de agua o sistemas de calentamiento de agua con colectores solares, de tal forma que los flujos energéticos se crucen entre ellos optimizándose el valor de la temperatura de un equipo en otro o en un proceso. El óptimo aprovechamiento de la energía primaria suministrada al sistema de poligeneración dependerá sobre todo su aplicación final tal como generación de etanol, generación de agua tratada o del centro de consumo y su fin principal. (Mendoza,2020)

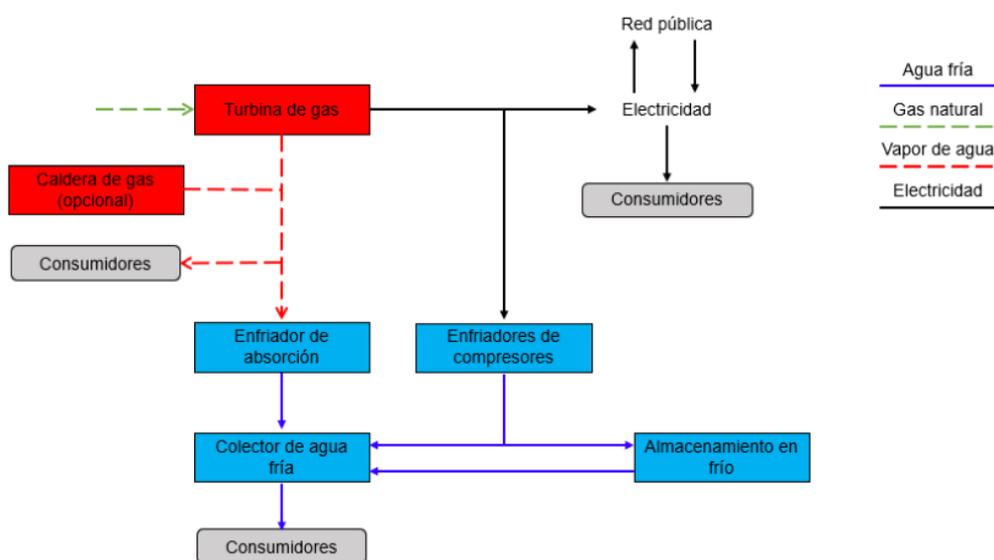
Los componentes implementados en los sistemas de poligeneración son los mismos que se instalan en cualquier centro de consumo de energía de servicios o producción variando únicamente el motor primo que puede ser una turbina de gas, turbina de vapor o un motor de combustión interna. La figura 22 presenta una planta de poligeneración empleado en un hospital en Eslovenia; el cual se caracteriza por

utilizar una turbina de gas y gas natural como combustible e incluye sistemas de climatización y sistemas de almacenamiento de agua fría, además de que la planta de cogeneración puede distribuir vapor a la red pública para sistemas de calefacción. (Mendoza, 2020)

Las fuentes de energía renovables empleadas en las plantas de poligeneración tienen a la energía solar como su principal actor energético, para la generación de agua caliente sanitaria en hospitales o agua caliente para servicios de hospedaje con colectores solares. Los concentradores solares operan en paralelo con los sistemas de cogeneración y las plantas de refrigeración por absorción con bromuro de litio para generar agua fría, conservación de productos o vacunas o en sistemas de climatización. Con la característica principal que presentan una operación y mantenimiento relativamente bajos. El único inconveniente es en el CAPEX de inversión deberá incluir una gran cantidad de colectores y la disponibilidad de un área de montaje de los mismos. (Mendoza, 2020)

Figura 22

Esquema de Poligeneración en un hospital en Eslovenia



Nota. Información obtenida de tesis de Mendoza (2020)

#### 2.4.2 Integración renovable.

Los sistemas energéticos que emplean recursos energéticos renovables han reducido actualmente sus costos y compiten con tecnologías muy avanzadas con los sistemas convencionales, sobre todo porque representan sistemas con bajas emisiones de efecto invernadero en relación a los sistemas convencionales que emplean combustibles o generan energía eléctrica asociada al consumo de combustibles. (Montalbán, 2021)

La energía solar, se adquiere a partir del aprovechamiento de la radiación solar incidente sobre la superficie terrestre, teniéndose en cuenta que es una fuente inagotable de energía, y esta ligada de alguna forma a la existencia de la tierra. La energía solar es aprovechada en función a su temperatura y al fenómeno fotovoltaico de conversión directa de energía. En el caso del aprovechamiento de la temperatura se pueden tener diversos sistemas tal como termas, destiladores, incubadoras, cocinas, entre otros, los cuales han incrementado su rendimiento con nuevos materiales. En el caso de generación eléctrica, se cuentan con diversas tecnologías de paneles solares que permiten alcanzar eficiencias de hasta 27%, habiéndose desarrollado en el país tanto sistemas autónomos como integrados a la red principal de energía. (Montalbán, 2021)

La energía solar puede emplearse en los sistemas de calefacción de hogares en las zonas alto andinas generándose temperatura admisible en las viviendas y agua caliente. La implementación de energía térmica alcanza en algunos casos el 50% de la demanda total de una casa. Actualmente se integra con tecnologías de arquitectura en casas implementándose el suelo radiante y la orientación de ventanas. La temperatura que se puede alcanzar como sistemas térmicos solares es hasta 40° C. (Guerrero, 2020)

Los tanques de acumulación de agua caliente presentan los siguientes objetivos:

- Mejora de la calidad del servicio.
- Permiten almacenar fluidos calientes para emplearse en horas de baja temperatura.
- Actúan como un sistema de regulación entre la demanda y la producción de energía.

La integración distribuida que se basa en generación renovable condiciona el comportamiento del sistema de generación. A corto plazo, se presentan variaciones

en los recursos empleados, como pueden ser rachas de viento en el caso de la energía eólica, o el paso de nubes en los sistemas solares, las cuales provocan perturbaciones en la energía generada por estos sistemas, afectando a la calidad del servicio. (Gasco, 2013)

### **2.4.3 Concentradores solares.**

La concentración solar de potencia mediante colectores solares, se basa en el principio de aprovechamiento de la irradiación solar, para la generación de energía térmica. Este tipo de tecnología se clasifica en dos categorías, los colectores que concentran de manera focalizada la irradiación, mediante la utilización de lentes o espejos reflectores; y los colectores de forma plana, que no concentran la irradiación sobre un punto específico. A continuación, se detallan los distintos tipos de colectores solares, los cuales se diferencian por la forma de los colectores, el principio de trabajo que siguen, la ratio de concentración, y el rango de temperatura típico a la que se logra recuperar calor. (Portella, 2022)

Colector de placa plana Este tipo de colector cuenta con un absorbedor plano, ubicado en la parte superior; además, no requiere de un sistema de seguimiento a la posición del sol. Por lo cual, aprovecha tanto la irradiación directa como la irradiación difusa, que incide sobre la superficie del absorbedor. Usualmente se emplea para cubrir servicios de calefacción y producción de agua caliente sanitaria (DHW); aunque también puede aprovecharse la energía térmica para la producción de frío para los servicios de aire acondicionado. (Portella,2022)

En la figura 24 se logra observar los valores típicos para la ratio de concentración ( $C_r$ ) para cada tipo de colector. Este parámetro también es de utilidad para determinar el tipo de irradiación que aprovecha el colector solar. Se establece que los colectores con valores de  $C_r$  mayores a 5, operan bajo el principio de concentración focalizada (imaging-concentrating collectors); por lo que aprovechan únicamente la irradiación directa. Mientras que, los colectores con valores de  $C_r$  menores a 5, se caracterizan por recibir la irradiación de manera dispersa sobre la superficie del receptor (non-imaging solar collectors); por lo cual aprovechan la irradiación directa y parcialmente la irradiación difusa, (Portella, 2022)

Para seleccionar y evaluar el comportamiento de distintas tecnologías de colectores solares, se debe tener en consideración diversos indicadores de desempeño energético tal como es la ratio de concentración y los niveles de temperatura que debe alcanzar el fluido de trabajo, mientras que el volumen del fluido es función directa del número de colectores solares. El ratio de concentración (que puede ir desde 1 a 1 200) compara la relación existente entre el área de apertura del colector solar y el área del receptor. Por otro lado, el nivel de temperatura, es de vital importancia para cumplir con la función requerida. (Portella, 2022)

*Figura 23*

Tipos de colectores solares

<b>Tipo de colector</b>	<b>Ratio de concentración</b>	<b>Nivel de temperatura</b>
Colector de placa plana	1	< 100 °C
Colector de tubo de vacío	1 a 1.2	< 200 °C
Colector parabólico compuesto	1.1 a 5	< 200 °C
Colector con concentración térmica-fotovoltaica	1 a 5	< 150 °C
Reflector Fresnel lineal	10 a 40	< 400 °C
Colector cilindro parabólico	10 a 50	< 500 °C
Colector disco parabólico	50 a 500	< 750 °C
Colectores de torre con receptor central	500 a 1200	500 °C a 1200 °C

*Nota.* Información obtenida de tesis de Portella (2022)

Los sistemas de poligeneración con motores de combustión interna y colectores solares incluyen la implementación de un tanque de almacenamiento de fluido caliente debidamente aislado; que permite reservar el empleo del fluido en horas de baja temperatura o para un uso posterior según una determinada demanda que puede ser de calefacción. De forma similar la acumulación de agua fría reviste el mismo mecanismo de consumo. Este arreglo basa su utilización en las horas predominantes de sol que es entre 09:00 am a 03:00 pm, dependiendo en muchos casos de la ubicación geográfica. (Portella, 2022)

Los sistemas CHP se basan en la autogeneración conjunta de electricidad y energía térmica para procesos en las instalaciones de producción o de servicios, pero por lo general no existe una coincidencia entre el consumo de energía eléctrica y térmica, lo cual implica tomar una decisión, siendo la más favorable la acumulación de energía en tanques calorifugados, de tal forma que se sincronice el consumo con la generación de energía y el volumen de almacenamiento de agua caliente o agua fría, y en algunos casos la implementación de BESS para acumular energía eléctrica en horas de máxima demanda implementando peak shaving. (Fuentes, 2017)

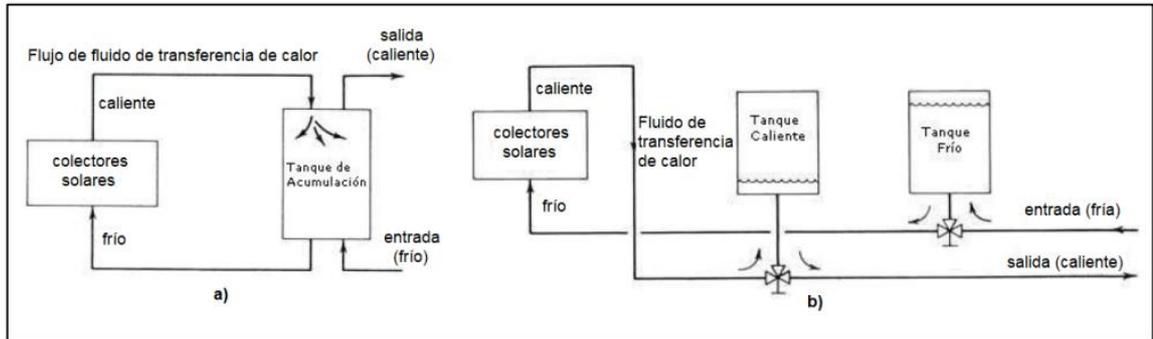
La tecnología desarrollada para los tanques de almacenamiento de fluidos calientes (por ejemplo, agua caliente sanitaria) se clasifican en función a las características del fluido de trabajo. Así tenemos, unidades de acumulación de calor sensible, para los casos que se desea provechar el nivel de temperatura obtenido. Mientras que, en otros casos se aprovecha algún tipo de fluidos con características especiales aprovechándose su calor latente de vaporización. Para este último caso, el fluido que fluye a través de los colectores es distinto al fluido almacenado en el tanque, lo cual necesita de forma obligada la instalación de intercambiador de calor. (Portella, 2022)

Los sistemas de almacenamientos convencionales involucran el empleo de un único tanque, donde el fluido de trabajo circula a través de los colectores solares, y se almacenan en el tanque. Dicha configuración presenta indisponibilidades durante días sin sol como lo es en época de invierno, lo que resulta en la reducción de la temperatura del fluido saliente desde los colectores, reduciéndose aún más el valor de la temperatura durante la trayectoria entre el colector y el tanque de acumulación. (Portella, 2022)

El empleo de 2 o más tanques de almacenamiento, representa ventajas sobre 1 acumulador. Por otro lado, el fluido luego de fluir por el intercambiador de calor, presenta una disminución de su temperatura, por lo cual es almacenado en otro tanque, para posteriormente reingresar al circuito de los colectores solares. (Portella, 2022)

Figura 24

Sistema de almacenamiento de agua convencional



Nota. Información obtenida de tesis de Portella (2022)

### III. MATERIAL Y MÉTODO

#### 3.1 Material:

##### 3.1.1 Datos Marco.

El Hospital III de EsSalud Chimbote se encuentra instalado en la ciudad de Chimbote, Provincia del Santa, Perú; entro en operación el 13 de julio de 1963, con el nombre de Hospital Obrero de Chimbote. El 28 de abril del año 2022 se nombró al Dr. Ricardo Loje Cantinett como el primer director del Hospital III de EsSalud Chimbote. En el periodo de pandemia el Hospital III de EsSalud Chimbote brindo la atención médica ambulatoria e internado a través de tele consultas y modalidad mixta en los años 2020 y 2021. A comienzos del año 2022 se incrementó en 60% en la atención presencial con el fin del estado de emergencia sanitario.

El régimen de trabajo es en 2 turnos por día, durante todo el año. La planta de generación de vapor funciona 15-16 horas por/día en forma intermitente para cubrir con los requerimientos de energía térmica. Tiene 36 consultorios de diversas especialidades médicas, brindando un promedio de 16 mil atenciones/mes en consulta externa y realizando 550 intervenciones quirúrgicas en sus salas de operaciones mensuales. Con lo cual su ratio de atención en consultorio es una de las más altas del norte del país.

*Figura 25*

Hospital III ESSALUD Chimbote



*Nota.* Extraído de Essalud III Chimbote (2023)

### 3.1.2 Oferta de Energía.

El Hospital ESSALUD III requiere un consumo de vapor saturado a baja presión para sus diversas áreas auxiliares que la conforman así tenemos:

Área de Cocina, con aproximadamente 42%

Área de lavandería, con un 51% y

Área de Esterilización, con 6%.

Del mismo modo se tienen pequeñas demandas de agua caliente para tratamientos terapéuticos con un valor de 1% del total requerido. El vapor se obtiene de la operación de 3 calderas pirotubulares con antigüedades entre 10 y 15 años, una de ellas de marca Manser y la otras Intesa; la potencia de cada caldero es 100 BHP de potencia, las que trabajan alternadamente cada 6 meses. Las paradas se realizan solo por mantenimiento programado alternándose los equipos para su funcionamiento.

*Tabla 2*

Información de Calderos Pirotubulares

Características	Caldera 1	Caldero 2	Caldero 3
Potencia (BHP)	100	100	100
Marca	Intesa	Manser	Intesa
Condición	Operativa (en reserva)	Operativa (en servicio activo)	Operativa (en reserva)
Combustible	Petróleo DB2	Petróleo DB2	Petróleo DB2
Número de pasos	3	2	3
Presión de servicio (bar)	6	6	6
Presión de bombeo de agua (bar)	10	10	10
Temperatura de agua (°C)	70	70	70
Consumo máximo combustible (gal. /hora)	30	30	30
Producción nominal de vapor (kg/h)	1 430	1 430	1 430
Eficiencia	85 %	85%	85%

*Nota.* Obtenido del Departamento de Servicios Generales

*Figura 26*

Caldero Manser de 100 BHP



*Nota.* Obtenida de Essalud III Chimbote

El vapor saturado generado se distribuye desde un manifold desde el cual salen 4 tuberías hacia los puntos de consumo 4 líneas.

*Figura 27*

Distribuidor general de vapor saturado



*Nota.* Obtenido de Essalud III Chimbote

El calentador de agua en la sala de calderas se encarga de elevar la temperatura del agua y suministrar agua caliente para diversas aplicaciones dentro del hospital, como calefacción de espacios, suministro de agua caliente sanitaria en el centro de terapias físicas, procesos de esterilización y lavandería, entre otros. Proporciona el calor necesario

para abastecer de agua caliente en el centro de salud. El requerimiento de agua sanitario es de 600 L al día. Este es obtenido mediante el empleo de vapor saturado. Para el calculo del flujo de vapor requerido en el calentador de agua sanitaria tenemos la siguiente ecuación:

$$\dot{m}_v * (h_g - h_f) = \dot{m}_{AS} * Cp_{AS} * (T_f - T_i)_{AS} \dots \dots \dots (4)$$

$\dot{m}_v$  = Flujo masico de vapor saturado.

$h_g$  = Entalpia de vapor saturado

$h_f$  = Entalpia de líquido saturado

$\dot{m}_{AS}$  = Flujo masico de agua caliente sanitaria

$Cp_{AS}$  = Calor especifico del agua

$(T_f - T_i)_{AS}$  = Variación de temperatura de calentamiento del agua caliente sanitaria.

*Figura 28*

Calentador de agua sanitaria



*Nota.* Obtenida de Essalud III Chimbote.

Tabla 3

Información de Calentador de agua sanitaria

Características	Caldera 1
Marca	ESISA
Modelo	Horizontal
Serie	F4189C2014
Volumen del tanque	1 313 galones
Capacidad de calentamiento	3,125 galones/h
Temperatura de agua sanitaria (°C)	40
Eficiencia	90 %

*Nota.* Obtenido de Departamento de Servicios Generales

### 3.1.3 Demanda de Energía Eléctrica.

Se tiene un suministro eléctrico con número N°49529333 conectado a 13,2 kV, con una potencia contractual de 299 kW; el cual es abastecido por Hidrandina S.A. La energía eléctrica se distribuye internamente en los circuitos de fuerza e iluminación interior y exterior. El punto de suministro proviene del alimentador CHN013 AMT de la SET Chimbote Norte, en 13,2 kV. Desde la estructura en Media Tensión N° 2053981 (punto de conexión) llega en un tramo en forma subterránea hasta la estructura de medición N° 2061519, donde está ubicado el medidor electrónico sobre un muro de concreto, para recorrer en forma aérea (130 m) mediante poste de concreto de 13m hasta la estructura de media tensión N° 2061521, para finalmente llegar en forma subterránea hasta la subestación tipo caseta CH 7003 ubicado dentro del Hospital III.

Tabla 4

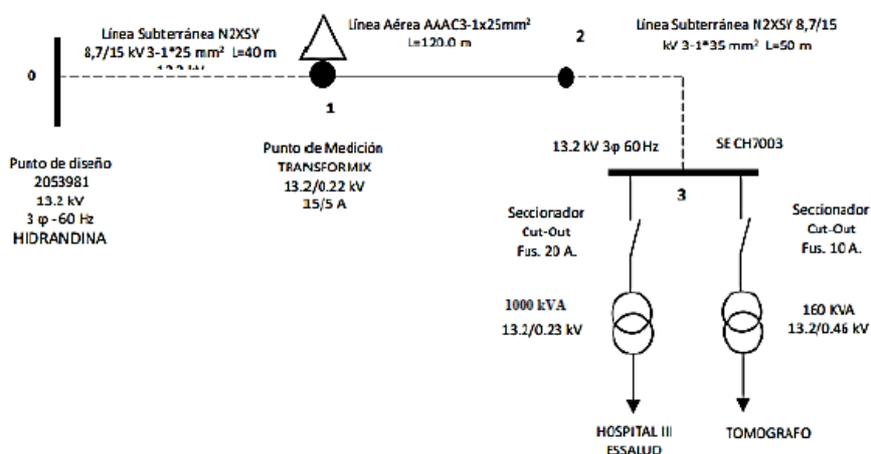
Información de Consumo de Energía Eléctrica

Cargo	Consumo	Unidad
Máxima Demanda en HP	244	kW
Máxima Demanda en HFP	315	kW

*Nota.* Información obtenida del Departamento de Servicios Generales

Figura 29

Diagrama unifilar hospital III ESSALUD – Chimbote



Nota Información obtenida de Essalud III Chimbote.

3.1.3 Información de consumo de energía térmica.

El sistema de abastecimiento de vapor saturado incluye un manifold, desde el cual salen 4 tuberías de acero sin costura SCH 60 debidamente forradas con lana de vidrio. Seguidamente se presenta el horario de consumo en las diversas áreas del centro de salud.

Tabla 5

Horario de consumo de energía térmica

Área	Días	Fluido	Horario	
			Mañana	Tarde
Lavandería (5 bar)	Lunes-sábado	Vapor 2 Bar	4.00 a.m a 9.00 a.m 11.00 a.m a 1.00 p.m	3.00 p.m a 6.00 p.m
Nutrición (2 bar)	Lunes-Domingo	Vapor 1,1 Bar	4.00 a.m a 1.00 p.m	3.00 p.m a 6.00 p.m
Esterilización (3,5 Bar)	Lunes-Domingo	Vapor 2 Bar	5.00 a.m a 10.00 a.m	3.00 p.m a 6.00 p.m

Nota. Información obtenida de Departamento de Essalud III Chimbote.

La lavandería del Hospital es relativamente antigua contando lavadores de contacto directo, el empleo es de uso exclusivo del hospital. Se cuenta con lavadoras, secadoras, planchas y calandrias.

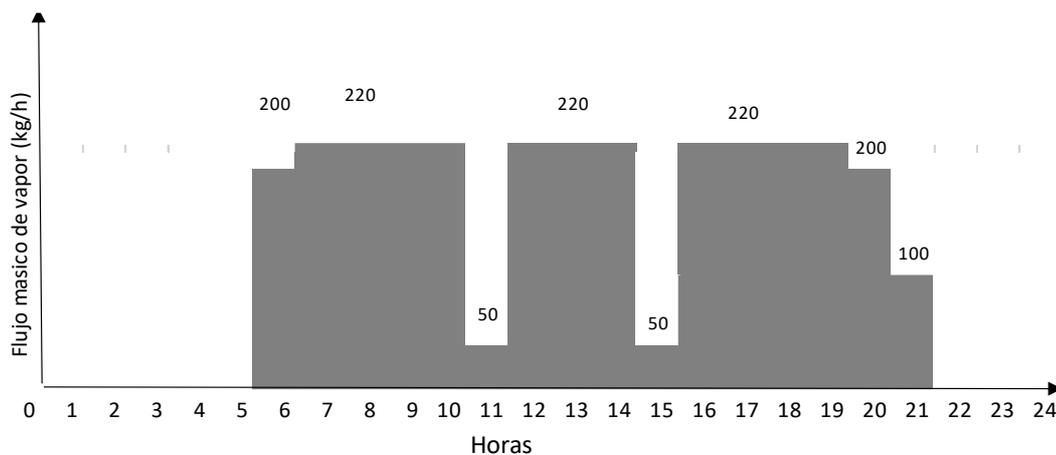
Las lavadoras a vapor se emplean para lavar y esterilizar la vestimenta de los pacientes de sala y personal de salud del Hospital. Las lavadoras operan con una mezcla agua -vapor a 75°C. Las secadoras cuentan con un serpentín en la parte superior a través del cual fluye el vapor mientras que aire a condiciones ambientales es impulsado a través de un ventilador ubicado en la parte inferior del secador, lo cual obliga al aire de ingreso a calentarse al circular por el calentador, esto con la finalidad de reducir su porcentaje de humedad.

La calandria tiene la función de recepcionar al vapor para que ingrese a través de un rodillo el cual gira a bajas rpm., el calor latente del vapor se transfiere desde el interior hasta la superficie externa de la chapa metálica que forma el rodillo por donde se encuentran rotando las prendas de vestir conjuntamente con el rodillo, transfiriéndose así el calor a las mismas.

Mientras que las planchas son equipos a vapor más pequeños, empleando vapor indirecto. El condensado de secadoras, calandrias y planchas es recuperado, mientras que el vapor empleado en lavadoras es directo por lo tanto no es recuperado.

*Figura 30*

Diagrama de carga térmica de área de lavandería

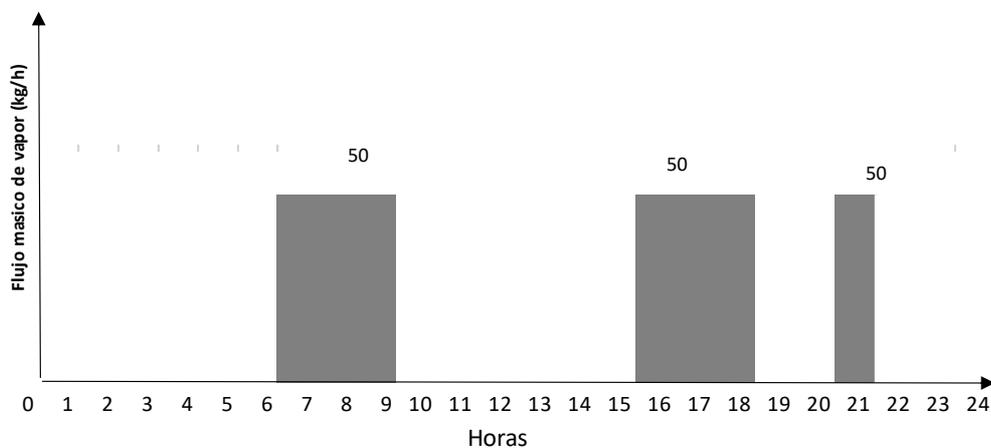


*Nota.* Elaboración propia con información de Essalud III Chimbote (2023)

La esterilización se realiza mediante autoclaves a vapor directo a baja presión usado para la destrucción de cualquier tipo de gérmenes patógenos, es decir, que se refiere exclusivamente a la muerte de aquellos organismos perjudiciales a la salud de los seres humanos, así como también la eliminación de una forma de vida especial de las bacterias como son las esporas. La efectividad de la esterilización está en función de la concentración del agente esterilizante (vapor, aire caliente, óxido de etileno).

Figura 31

Diagrama de carga térmica de área de esterilización

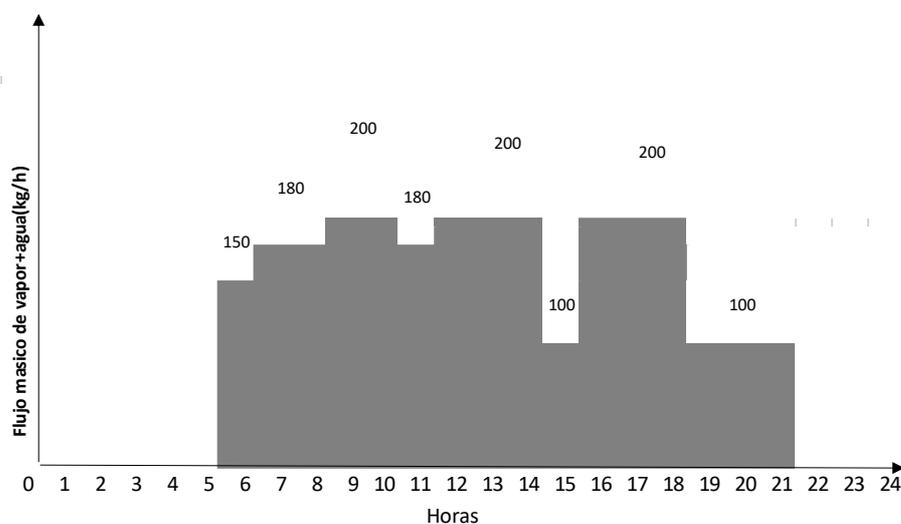


Nota. Elaboración propia con información de Essalud III Chimbote (2023)

En los centros de salud la preparación de alimentos es una de las tareas a las cuales se presta un gran interés, ya que la calidad de alimentos, así como los procedimientos de preparación de estos tienen que ser llevados con gran asepsia para garantizar la calidad de alimentos que son servidos a los pacientes por parte de las instituciones de salud. Para el cual se hace el uso de las marmitas. Marmitas sirven para cocinar grandes volúmenes, las marmitas son utilizadas en la industria de procesamiento de alimentos para realizar diferentes procesos en los que se transfieren de calor de forma indirecta. El funcionamiento consiste básicamente en una cámara de calentamiento conocida como camisa o chaqueta de vapor, que rodea el recipiente donde se coloca el material que se desea calentar. El calentamiento se realiza haciendo circular el vapor de forma indirecta a cierta presión por la cámara de calefacción.

Figura 32

Diagrama de carga térmica de área de nutrición



Nota. Elaboración propia con información de Essalud III Chimbote (2023)

3.1.4 Información referente a sistemas de climatización. Se cuenta con sistemas de aire acondicionado individuales en diversas oficinas

Tabla 6

Inventario de carga de climatización

Cantidad	Capacidad	Potencia Térmica	Potencia Eléctrica	Horario
07	24 000 Btu/h	7,03 kW	14 kW	11.00 am a 3.00 am
07	36 000 Btu/h	10,55 kW	23 kW	11.00 am a 3.00 am
04	48 000 Btu/h	14,06 kW	17 kW	11.00 am a 3.00 am
12	60 000 Btu/h	17,5 kW	65 kW	11.00 am a 3.00 am
04	75 000 Btu/h	21,9 kW	27,3 kW	11.00 am a 3.00 am
03	90 000 Btu/h	26,3 kW	24,5 kW	11.00 am a 3.00 am
TOTAL	333 000 Btu/h	97,34 kW	170,8 kW	

Nota. Información obtenida de Essalud III Chimbote

### 3.2 Método.

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

**3.2.2** Según Escudero & Cortez (2018), un diseño de investigación es un conjunto de componentes que interactúan para la realización de una determinada meta, así mismo es interactivo, flexible y reflexivo. El diseño de la investigación es no experimental, es aquel que se realiza sin manipular deliberadamente variables. Se basa fundamentalmente en la observación de fenómenos tal y como se dan en su contexto natural para después analizarlos. Recolectan datos a través del tiempo en puntos o períodos especificados, para hacer inferencias respecto al cambio, sus determinantes y consecuencias.

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



O1: Suministro convencional de Energía.

O2: Suministro de energía con autogeneración.

X: Sistema de poligeneración.

G.E: Hospital ESSALUD III de Chimbote.

### 3.2.3 Metodología de cálculo:

Se detalla la secuencia de cálculo en la determinación de resultados y discusión realizado del presente informe se tuvo en cuenta el siguiente procedimiento.

a. Elaboración los perfiles de carga eléctrica, térmica y de climatización determinando el valor de la máxima demanda coincidente para el sistema de poligeneración.

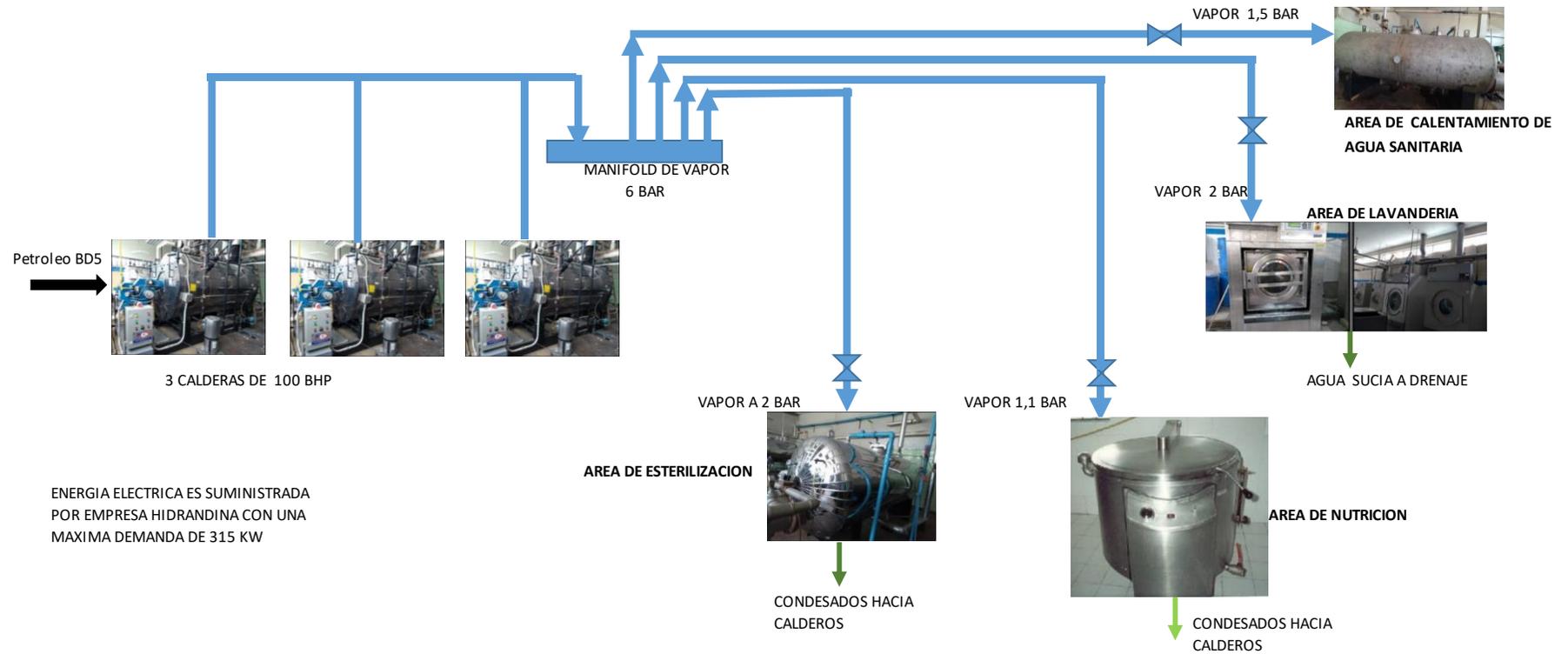
Para el Factor de climatización se aplica un factor de simultaneidad de 0,5

$$Carga\ Termica\ de\ Climatizacion = Potencia\ electrica_{climatizacion} * F.S . (3)$$

b. Determinación del arreglo del sistema de poligeneración para el autoabastecimiento total de energía en un centro de salud.

Figura 33

Sistema convencional de suministro de energía



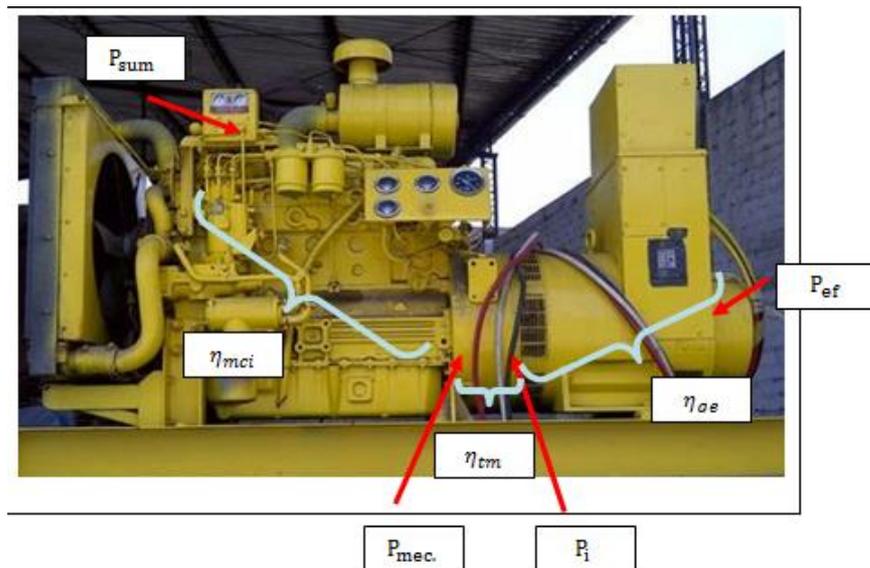
Nota. Elaboración propia

- c. Dimensionamiento el sistema de poligeneración para el autoabastecimiento de energía en un centro de salud.

Se debe tener en cuenta para el grupo electrógeno las siguientes ecuaciones:

Figura 34

Ubicación de las Potencias en un grupo electrógeno



Nota. Información obtenida de tesis de Sandoval (2021)

Donde:

$P_{sum}$ , es la potencia térmica suministrada por el combustible en función a su poder calorífico inferior.

$$P_{sum} = \dot{m}_c * PCI \dots \dots (5)$$

$P_{mec}$ , es la potencia mecánica que se suministra desde el motor de combustión interna hacia el sistema de acoplamiento mecánico.

Para motores sobrealimentados la eficiencia es : < 45 a 50 %>

$$\eta_{mci} = \frac{P_{mec}}{P_{sum}} * 100\% \dots (6)$$

Donde la eficiencia de la transmisión mecánica oscila entre valores de 98 a 99 % , y se evalúa según la siguiente ecuación:

$$\eta_{tm} = \frac{P_i}{P_{mec}} * 100\% \dots (7)$$

$P_i$ , es la potencia mecánica suministrada al generador eléctrico.

Así mismo, el cociente entre la potencia de salida (también llamada potencia útil) y la potencia suministrada (también llamada potencia total suministrada) es la eficiencia. Esta eficiencia se expresa en tanto por ciento (%).

$$\eta_{GE} = \frac{P_{ef}}{P_i} * 100\% \dots (8)$$

La eficiencia de planta también se puede evaluar con la siguiente ecuación:

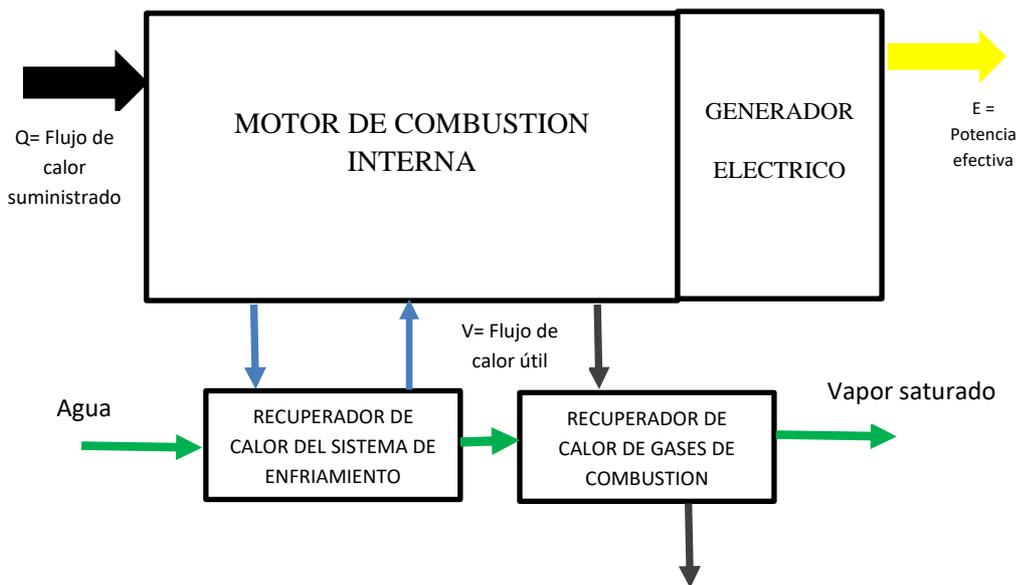
$$\eta_{planta} = \eta_{GE} * \eta_{tm} * \eta_{mci} \dots \dots \dots (9)$$

Donde:

$$P_{ef} = \text{Maxima Demanda Hospital} - \text{Potencia electrica}_{climatizacion} \dots (10)$$

Seguidamente se presentan las ecuaciones para el aprovechamiento de los calores residuales del motor de combustión interna.

*Figura 35*  
Recuperación de calor residual de un MCI



*Nota.* Elaboración propia

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

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

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

Donde:

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

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

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

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

$Q_{A1}$  , esta 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.

$Cp_A$  es el calor especifico a presión constante del agua

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

$$\text{Se cumple que } Q_{SE} = Q_{A2} \quad (13)$$

Para la recuperación 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:

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

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

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

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

$Q_{A2}$  , esta 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.

$Cp_A$  es el calor especifico a presión constante del agua

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

$$\text{Se cumple que } Q_{SL} = Q_{A3} \quad (16)$$

Para el sistema de refrigeración por absorción.

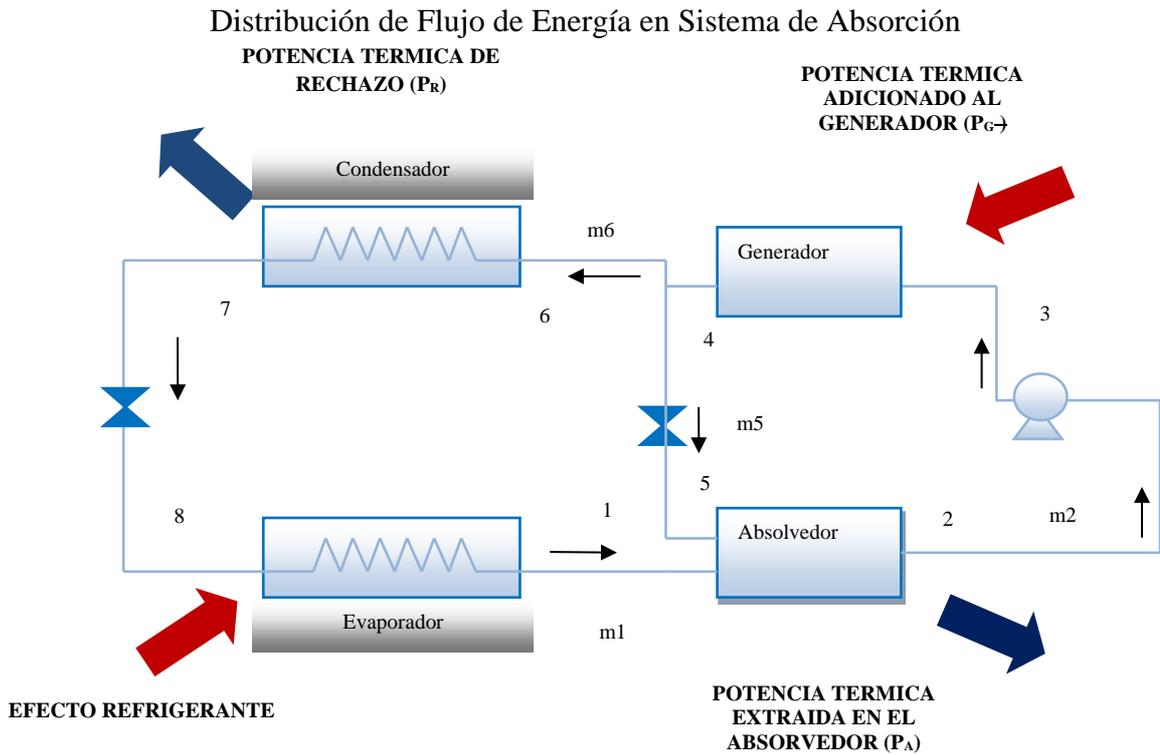
Determinación de la demanda térmica por vapor requerida en función a las demandas térmicas individuales de los puntos de consumo.

$$\dot{V}_{tv} = \sum_{i=1}^n V_i \dots \dots (17)$$

Donde el valor de  $n$  es el numero de equipos consumidores de calor en las áreas de nutrición, lavandería y esterilización.

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

Figura 36



Nota. Información obtenida de tesis de Arias (2015)

Las siguientes ecuaciones que permiten dimensionar la planta de refrigeración por absorción:

Balance de energía en el absorbedor: En el absorbedor el agua refrigerante saliente del evaporador en estado de vapor saturado a 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 determinado grado de concentración. Para esto se necesita extraer calor del sistema, a través de un proceso exotérmico.

$$P_A + (m_2 * h_2) = (m_1 * h_1) + (m_5 * h_5) \dots \dots (18)$$

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 la 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 altas se separan generándose una solución rica en bromuro de litio que retorna al absorbedor. Mientras que el agua se deriva hacia el condensador. El generador y el condensador se encuentran a la misma presión. Para esto es necesario adicionar calor de manera indirecto al generador a través de un proceso endotérmico.

$$P_G + (m_3 * h_3) = (m_4 * h_4) + (m_6 * h_6) \dots \dots (19)$$

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 realiza la disipación de calor extraído o potencia térmica de rechazo del calor extraído del ambiente a refrigerar hacia el medio ambiente o medio exterior.

$$P_C + (m_6 * h_7) = (m_6 * h_6) \dots \dots \dots (20)$$

Dónde:

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

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

Balance de energía en el evaporador. En el evaporador se realiza el efecto refrigerante  $E_R$  en el cual se extrae calor del sistema a refrigerar:

$$E_R + (m_1 * h_8) = (m_1 * h_1) \dots \dots \dots (21)$$

Balance de energía total es el sistema de absorción se cumple la siguiente igualdad:

$$E_R + P_G = P_A + P_R \dots \dots \dots (22)$$

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

$$V_{SA} = \frac{P_G}{Eficacia\ del\ generador} \dots \dots \dots (23)$$

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

La cual es igual a la siguiente ecuación:

$$\dot{V}_t = \dot{V}_{tv} + V_{SA} \dots \dots \dots (24)$$

- d. Estimación la reducción de energía primaria  $E.P$  para la propuesta de implementación del sistema de poligeneración.

$$Reduccion\ E.P = E.P_{sistema\ convencional} - E.P_{poligeneracion} \dots \dots \dots ( 25 )$$

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

##### 4.1 Determinación de carga térmica requerida.

###### 4.1.1 Carga térmica para agua sanitaria actuales. Proceso de calentamiento 600 litros/h.

(Turno de 7.00 a 8.00 am)

Condiciones de calentamiento de agua sanitaria:

Temperatura desde 20 a 80 °C

Volumen 600 litros/día (0,6 m<sup>3</sup> = 600 kg/día) como máxima demanda.

Densidad del agua 10<sup>3</sup> kg/m<sup>3</sup>

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

Condiciones de suministro de calor del vapor saturado evaluado a 1,5 Bar.:

Entalpia de vapor saturado: 2 693,1 kJ/kg

Entalpia de líquido saturado: 467,08 kJ/kg

Aplicando la ecuación 4:

$$\dot{m}_v * (2\,693,1 - 467,08) = 600 * 4,18 * (80 - 20)$$

$$\dot{m}_v = 67,6 \text{ kg/dia}$$

La carga térmica representativa actual es de:

$$CT_{AS} = \frac{67,6 * (2\,693,1 - 467,08)}{3\,600} = 41,8 \text{ kW}$$

###### 4.1.2 Propuesta de agua caliente sanitaria con calentadores solares.

Temperatura de agua caliente sanitaria 40°C.

Condiciones de abastecimiento de agua caliente sanitaria mediante termas solares:

Se toma como referencia los valores de temperatura para la ciudad de Chimbote:

Temperatura mínima del agua 16°C

Temperatura de agua caliente sanitaria 40 °C

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

Según el Reglamento General de edificaciones no se cuenta con especificaciones de dotación de agua caliente sanitaria para terapia física (existe un valor de 250 litros/día-cama lo cual incluye a los pacientes hospitalizados y no a los de terapia física). Tomando como referencia el Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios. RITE del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, se opta por un valor de dotación de 55 litros ACS/día.

Actualmente el promedio de pacientes por terapia física varía desde 0 pacientes por día hasta un máximo de 10 pacientes por día (Fuente : Hospital Essalud III Chimbote).

$$\text{Consumo dia}_{ACS} = \text{Pacientes} * \text{Dotacion}$$

$$\text{Consumo dia}_{ACS} = 10 * 55 = 550 \text{ litros/dia}$$

$$\dot{Q}_{ACS} = 550 * 4,18 * (40 - 16) = 55\ 176 \text{ kJ/dia}$$

Del mismo modo, en el anexo 2 se presentan la tabla de valores para la radiación solar incidente sobre la ciudad de Chimbote, donde el mes Junio presenta el menor valor igual a  $H = 14,4 \text{ MJ/m}^2\text{dia}$ .

El Área global de captación se determina según la siguiente ecuación:

$$AGCS = \frac{\text{Carga termica ACS/dia}}{\text{radiación solar incidente} * \text{Eficiencia}_{\text{Colector solar}}}$$

Tomando una eficiencia de 40% para el colector de la terma solar. (Tomado como referencia: (Investigación de Sánchez & Iparraguirre, 2017)

<https://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14278/1924/27240.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

$$AGCS = \frac{55\ 176 \text{ kJ/dia}}{14,4 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2 * \text{dia}} * 1000 \frac{\text{kJ}}{\text{MJ}} * 0,40} = 9,58 \text{ m}^2$$

Se selecciona una terma solar de 300 litros Termosol (Ver especificaciones en Anexo 3)

Ancho del colector= 2,32 m.

Longitud de tubos=1,7 m.

Por lo tanto, el área unitaria de captación es igual a:

$$AUCS = 2,32 * 1,7 = 3,94 \text{ m}^2$$
$$\text{Numero de colectores} = \frac{9,58}{3,94} = 2,43 = 3 \text{ colectores}$$

Propuesta de 03 termas solares de 300 litros. El arreglo de las termas solares es en paralelo, ubicadas sobre la zona de terapia física

*Figura 37*

Ubicación tentativa de Termas solares de 300 litros de capacidad.



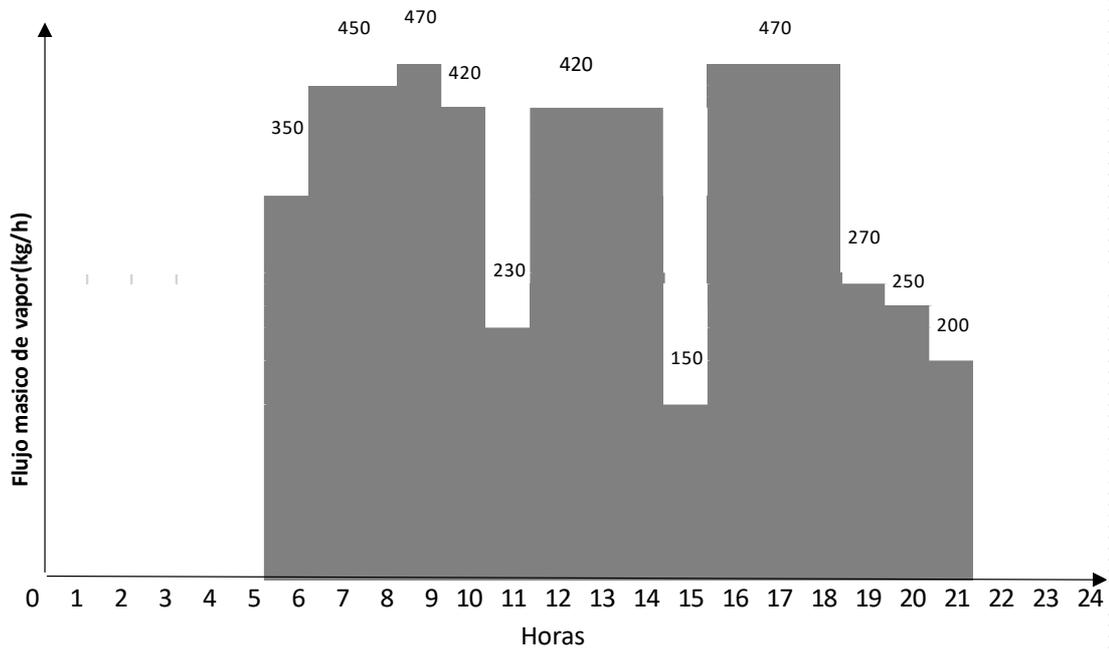
*Nota.* Imagen tomada de Hospital ESSALUD

#### **4.1.3 Carga térmica total requerida:**

Teniendo en cuenta la carga térmica requerida por las áreas de lavandería, nutrición y esterilización, se tiene el siguiente diagrama de carga coincidente del consumo de vapor. Teniendo en cuenta las figuras 30, 31 y 32.

Figura 38

Diagrama de carga térmica coincidente



Nota. Elaboración propia

Para una máxima demanda de 470 kg/h de vapor saturado aun valor máximo de consumo de 2 bar de presión. Se tiene un valor de presión de generación de 5 bar (limitado por una temperatura de saturación de 151, 8°C)

Considerando la temperatura de retorno de condensados de 50 °C y una presión de bombeo de agua de 10 bar, se tiene una entalpia especifica de  $h_1$  210,1 kJ/kg.

La presión de vapor saturado a 5 bar con lo cual la entalpia especifica como vapor saturado  $h_2$  es 2 747,5 kJ/kg.

El flujo de calor requerido para generar 470 kg/h de vapor saturado es de:

$$V_{CR} = \dot{m}_v * (h_2 - h_1)$$

$$V_{CR} = 470 \frac{kg}{h} * \frac{1 h}{3 600 s} * (2 747,5 - 210,1)$$

$$V_{CR} = 331,27 kW$$

Tomando en consideración una eficiencia de un recuperador de calor para generar 470 kg/h de vapor saturado de 90%.

La carga térmica de planta es:

$$V_{SA} = \frac{331,27}{0,9} = 368,1 \text{ kW}$$

#### 4.1.4 Carga térmica de climatización.

a. Consideraciones actuales.

Potencia instalada de climatización: 170,8 kW (Horas de máxima demanda coincidente 11.00 am a 2.00 pm estación de verano). Factor de Simultaneidad de 0,5.

Demanda de sistemas de climatización:  $170,8 \text{ kW} * 0,5 = 85,4 \text{ kW}$

Tomando un valor de coeficiente de performance igual a 4,35 para sistemas de climatización. Valor obtenido de Energiza (2014) Para un sistema de eficiencia A+ <https://nergiza.com/eer-cop-seer-y-scop-midiendo-la-eficiencia-del-aire-acondicionado/>

$$COP = \frac{Potencia\ termica_{climatizacion}}{Potencia\ electrica_{climatizacion}}$$

$$4,35 = \frac{Potencia\ termica_{climatizacion}}{85,4}$$

$$Potencia\ termica_{climatizacion} = 371,5 \text{ kW}$$

La potencia térmica de climatización requerida es igual a 371,5 kW, lo cual debe ser abastecido por un sistema de refrigeración por absorción.

b. Sistema de refrigeración por absorción equivalente para satisfacer los 371,5 kW del sistema de climatización.

Criterios de selección de la máquina de absorción:

Temperatura requerida por el sistema de climatización: 20 °C

Temperatura del refrigerante: 10 °C

Refrigerante: Agua

Líquido de absorción: Bromuro de litio.

Efecto refrigerante requerido.

$$\dot{E}_R = 371,5 \text{ kW}$$

En función a la figura 37 se determinas los valores de las temperaturas de funcionamiento de los sistemas de refrigeración por absorción y los valores de temperatura requerida por los sistemas de climatización:

*Tabla 7*

Temperaturas características del ciclo de refrigeración por absorción

Punto	T (°C)	Características
1	10	8° menos el punto de climatización de las salas del hospital la cual en promedio es 20°C) a la salida del evaporador a la presión de baja del ciclo de refrigeración. De tablas de vapor la presión de saturación es igual a 1,23 kPa.
2	30	Salida del absorbedor.
3	33	Salida de la bomba de solución acuosa
4	95	Salida del generador (de la solución acuosa rica en bromuro de litio, ingresante a la válvula de expansión y el vapor sobrecalentado ingresando al condensador). La presión de alta en condiciones de saturación es 5,1 kPa. (33 °C)
7	40	valor de la temperatura final en el condensador a la presión de alta del ciclo de refrigeración.

*Nota.* Elaboración propia.

Se presentan los valores de las entalpías específicas del agua (refrigerante) y de la solución acuosa de agua-bromuro de litio para la figura 36.

Tabla 8

Entalpías específicas del ciclo de refrigeración por absorción

Punto	T (°C)	Entalpia (kJ/kg)	Grado de concentración (X)	Característica
1	10	2 519,9	0	Vapor saturado
2	30	-167,0	0,5	Solución acuosa
3	33	-160,0	0,5	Solución acuosa
4	95	-60,0	0,68	Solución acuosa
5	95	-60,0	0,68	Solución acuosa
6	95	2 678,6	0	Vapor sobrecalentado
7	33,25	139,2	0	Líquido saturado
8	10	139,2	0	Vapor húmedo

*Nota.* Información obtenida de tablas de vapor de agua, carta de equilibrio para solución acuosa de bromuro de litio y el Diagrama Entalpía concentración para soluciones saturadas de Bromuro de Litio.

En los anexos se describe la determinación de los valores de las entalpías específicas.

Con la ecuación 21 y con un efecto refrigerante igual a 371,5 kW se determina  $m_1$ .

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

$$371,5 + (m_1 * 139,2) = (m_1 * 2 519,9)$$

$$m_1 = 0,156 \text{ kg/s}$$

Además, se cumple que:

$$m_6 = m_1 = 0,156 \text{ kg/s}$$

Realizando un balance de masas en el absorbedor, 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  $m_2 = 0,09 \text{ kg/s}$ , se obtiene un valor de  $m_5 = 0,066 \text{ kg/s}$ .

Realizando un balance de concentraciones:

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

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:

$$0 * 0,156 + 0,68 * 0,066 = 0,5 * 0,09$$

$$0,045 = 0,045$$

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, aplicando la ecuación 18:

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

$$P_A + (0,09 * -167) = (0,156 * 2519,9) + (0,066 * -60)$$

$$P_A = 404,0 \text{ kW}$$

Balance de energía en el generador, aplicando la ecuación 19:

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

$$P_G + (0,09 * -160) = (0,066 * -60) + (0,156 * 2678,6)$$

$$P_G = 428,3 \text{ kW}$$

Balance de energía en el condensador, aplicando la ecuación 20:

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

$$P_C + (0,156 * 139,2) = (0,156 * 2\,678,6)$$

$$P_C = 395,9 \text{ kW}$$

Balance de energía total en el sistema.

$$E_R + P_G = P_A + P_C$$

$$371,5 + 428,3 = 404,0 + 395,9$$

$$799,8 \cong 799,9$$

La Potencia térmica suministrada al generador  $V_{SA}$  para producir la separación del agua de la solución acuosa de agua y bromuro de litio, se determina con la ecuación 23:

$$V_{SA} = \frac{428,3}{0,9} = 475,9 \text{ kW}$$

El flujo de vapor requerido para el generador es el siguiente:

Considerando la temperatura de retorno de condensados de 50 °C y una presión de bombeo de agua de 10 bar, se tiene una entalpia específica de  $h_1$  210,1 kJ/kg.

La presión de vapor saturado a 5 bar con lo cual la entalpia específica como vapor saturado  $h_2$  es 2 747,5 kJ/kg.

$$V_{SA} = \dot{m}_v * (h_2 - h_1)$$

$$475,9 = \dot{m}_v \frac{\text{kg}}{\text{h}} * \frac{1 \text{ h}}{3\,600 \text{ s}} * (2\,747,5 - 210,1)$$

$$\dot{m}_v = 675,2 \text{ kg/h}$$

#### 4.1.5 Carga eléctrica.

a. Consideraciones:

Máxima Demanda: 315 kW.

Demanda de sistemas de climatización: 170,8 kW\*0.5= 85,4 kW

Demanda eléctrica del hospital: 229,6 kW

#### 4.2 Propuesta de arreglo de poligeneración.

Se propone instalar un Grupo Electrógeno operando en paralelo con 03 termas solares para abastecer:

Demanda Eléctrica: 229,6 kW.

Demanda Térmica: Climatización 475,9 kW y carga térmica de planta 368,1 kW

Demanda térmica de agua caliente sanitaria 600 litros/día

Se detallan los cálculos realizados para el Modelo G3512 Gas Generator Sets CAT de 750 kW que opera con gas natural como combustible.

Se presentan los datos principales del Modelo G3512 Gas Generator Sets CAT de 750 kW (extraídos del catálogo del grupo electrógeno, ver anexo):

Potencia efectiva: 750 kW

Factor de potencia: 0,8.

Ratio de carga: 10,57 MJ/ekW-h.

Régimen de flujo de admisión de aire de combustión – Nm<sup>3</sup>/bkW-h : 4,38.

Temperatura de gases de escape: 513 °C.

Temperatura de salida de agua del motor: 120 °C.

Temperatura de ingreso del agua al motor: 80°C.

Rechazo de calor al circuito de agua de las camisas: 365 kW.

Premisas de cálculo: Se producirán 470 kg/h de vapor saturado para las áreas de consumo del hospital y 675 kg/h de vapor saturado para el sistema de climatización. La generación de vapor se realiza a la presión de 5 bar, ingresando el agua de alimentación al generador de vapor recuperador de calor a 50°C y 10 bar. Se implementa un Generador de vapor recuperador de calor para aprovechar los gases calientes de la combustión salientes de mci del grupo electrógeno. Del mismo modo se instalará un precalentador de agua al GVRC aprovechando parte del agua caliente saliente del sistema de enfriamiento del mci.

El flujo masico de gas natural consumido se determinó según el siguiente calculo:

$$\dot{m}_{GN} = \frac{\text{Ratio de carga} * \text{Potencia efectiva}}{\text{Poder calorifico inferior GN} * \text{Densidad GN}}$$

$$\dot{m}_{GN} = \frac{10,57 \text{ MJ/kW} - \text{h} \cdot 750 \text{ kW}}{53,6 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} * 0,64 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 231 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

El rendimiento global del grupo electrógeno es el siguiente:

$$\eta = \frac{\text{Potencia efectiva}}{\dot{m}_{GN} * \text{Poder calorifico inferior}_{GN}}$$

$$\eta = \frac{750 \text{ kW}}{231 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} * 53,6 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} * 0,64 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0,34$$

El valor de la potencia térmica suministrada al Grupo Electrógeno es:

$$Q = 231 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} * 53,6 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} * 0,64 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 2\ 200 \text{ kW}$$

El flujo de aire de combustión es el siguiente:

$$\dot{m}_a = \frac{\text{Régimen de flujo de admisión de aire de combustión} * \text{Densidad}_a * \text{Potencia efectiva}}{\eta}$$

$$\dot{m}_a = \frac{4,38 \frac{\text{m}^3}{\text{bKW} - \text{h}} * 1,21 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 750 \text{ kW}}{0,34} = 11\ 691 \text{ kg/h}$$

El flujo de gases de la combustión es

$$\dot{m}_g = \dot{m}_a + \dot{m}_{GN} = 11\ 839 \text{ kg/h}$$

Análisis en el sistema enfriador del sistema de refrigeración del mci.

Flujo de agua ingresante: 470 kg/h para las áreas de consumo del hospital y 675 kg/h para el sistema de climatización, sumando un total de 1 145 kg/h de vapor saturado igual a 0,318 kg/s impulsado por una bomba de agua a 10 bar.

Temperaturas: Desde 50 a 70 °C.

Entalpia especifica de ingreso del agua a 50°C y 10 bar  $h_1 = 210,1$  kJ/kg

Entalpia específica del agua de salida a 70 °C y 10 bar  $h_2 = 293,8$  kJ/kg

El flujo de calor útil para calentar el agua es:

$$V_{u1} = \dot{m}_w * (h_2 - h_1)$$
$$V_{u1} = 0,318 * (293,8 - 210,1) = 26,6 \text{ kW}$$

El flujo de calor disponible por el agua de enfriamiento del mci es:

$$V_{g1} = \frac{V_{u1}}{0,9} = 29,5 \text{ MW}$$

El valor es aprovechable es menor al rechazo de calor al circuito de agua de las camisas que es 365 kW.

$$\text{Fraccion de aprovechamiento} = \frac{29,5}{365} * 100\% = 8,1\%$$

Seguidamente se tiene el análisis del aprovechamiento de los gases de la combustión disponibles del mci:

Flujo de gases de la combustión: 11 839 kg/h = 3,29 kg/s.

Temperatura aprovechable desde: 513 °C (según catálogo de grupo electrógeno) a 165°C (14°C sobre el valor de la temperatura de saturación del vapor saturado a 5 bar que es 152 °C)

Calor específico de los gases de la combustión igual 1,01 kJ/kg°C.

Con respecto al agua a evaporar: 0,318 kg/s de agua caliente a 70°C a 10 bar de presión hasta alcanzar el estado de vapor saturado a 5 bar.

El flujo de calor útil para evaporar el agua es:

$$V_{u2} = \dot{m}_w * (h_3 - h_2)$$
$$V_{u2} = 0,318 * (2\ 747,5 - 293,8) = 780,3 \text{ kW}$$

El flujo de calor disponible empleado de los gases de la combustión del GVRC:

$$V_{g2} = \frac{V_{u2}}{0,9} = 867 \text{ MW}$$

El flujo de calor disponible total de los gases de la combustión del GVRC:

$$V_{uTOTAL} = \dot{m}_g * C p_g * (513 - 165)$$
$$V_{uTOTAL} = 3,29 * 1,01 * (513 - 165) = 1\ 156 \text{ kW}$$

El valor del flujo de calor disponible empleado es menor al de flujo de calor disponible total de los gases de la combustión.

$$\text{Fraccion de aprovechamiento} = \frac{867}{1\ 156} * 100\% = 75\%$$

El valor del flujo de calor útil requerido es:

$$V_g = V_{g1} + V_{g2} = 896,5 \text{ kW}$$

Análisis de la Potencia eléctrica generada:

Potencia efectiva generada = 750 kW.

Potencia eléctrica requerida en Hospital = 239,6 kW.

Potencia eléctrica inyectada a la red= 520,4 kW.

Potencia eléctrica para sistemas de climatización = 0 kW.

Se evalúa el cumplimiento de la condición de calificación para inyección a la red aplicando las ecuaciones 1 y 2, y con las restricciones de la tabla 1 para los Parámetros de Calificación para Centrales de Cogeneración.

Donde:

$$C = \frac{E}{V} \geq 0,6$$

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

Y el considerando para aquellas Centrales de Cogeneración cuya potencia instalada sea menor o igual a tres (03) MW, el REE mínimo requerido será en un diez por ciento (10%) menor.

Datos de ingreso:

$$E = 750 \text{ kW}$$

$$Q = 2\,200 \text{ kW}$$

$$V = 896,5 \text{ kW}$$

$$C = \frac{750}{896,5} = 0,84 \geq 0,55$$

$$REE = \frac{750}{2\,200 - \frac{896,5}{0.9}} 0,62 \geq 0,6$$

De los valores obtenidos de E y REE se concluye que el sistema de poligeneración puede inyectar sus excedentes de energía eléctrica a la red.

Seguidamente se presentan los resultados para las propuestas de los sistemas de poligeneración con los siguientes modelos para las maquinas motrices bases:

G3412C Gas Generator Sets CAT de 500 kW.

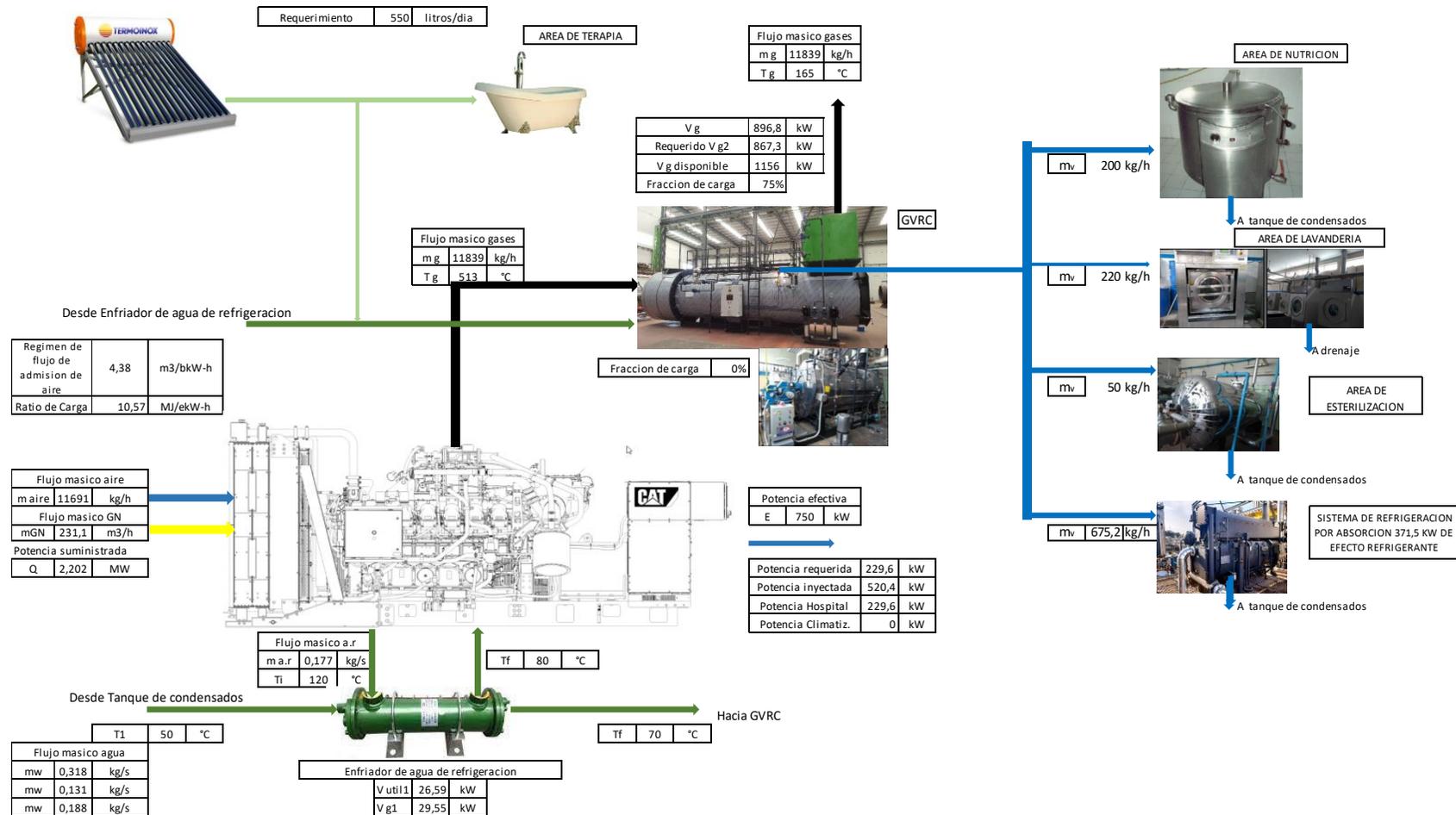
G3512 Gas Generator Sets CAT de 750 kW

G3512 Gas Generator Sets CAT de 1 000 kW.

G3512H Gas Generator Sets CAT de 1 490 kW.

Figura 39

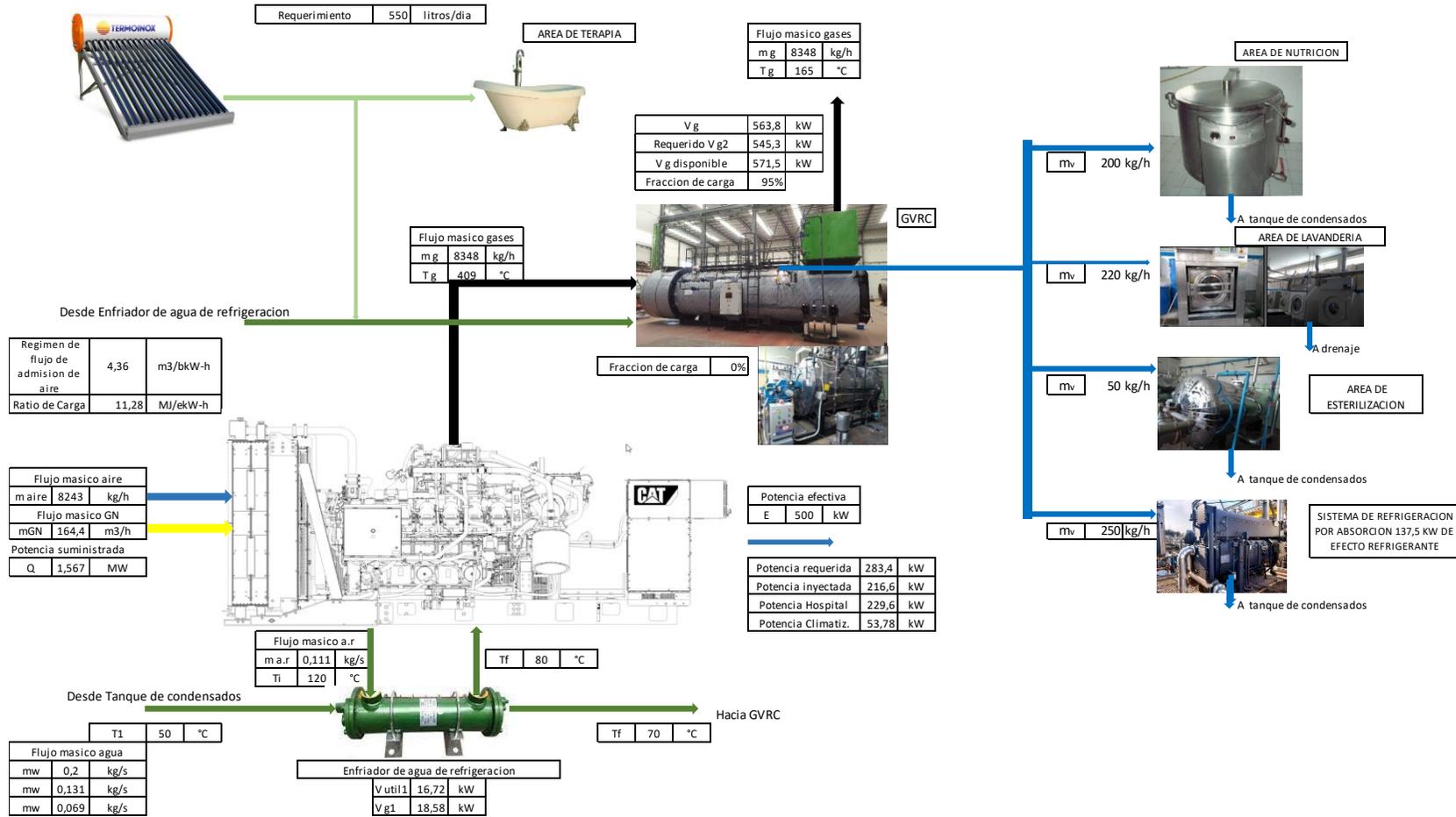
Propuesta de poligeneración con G3512 Gas Generator Sets CAT de 750 kW



Nota. Elaboración propia

Figura 40

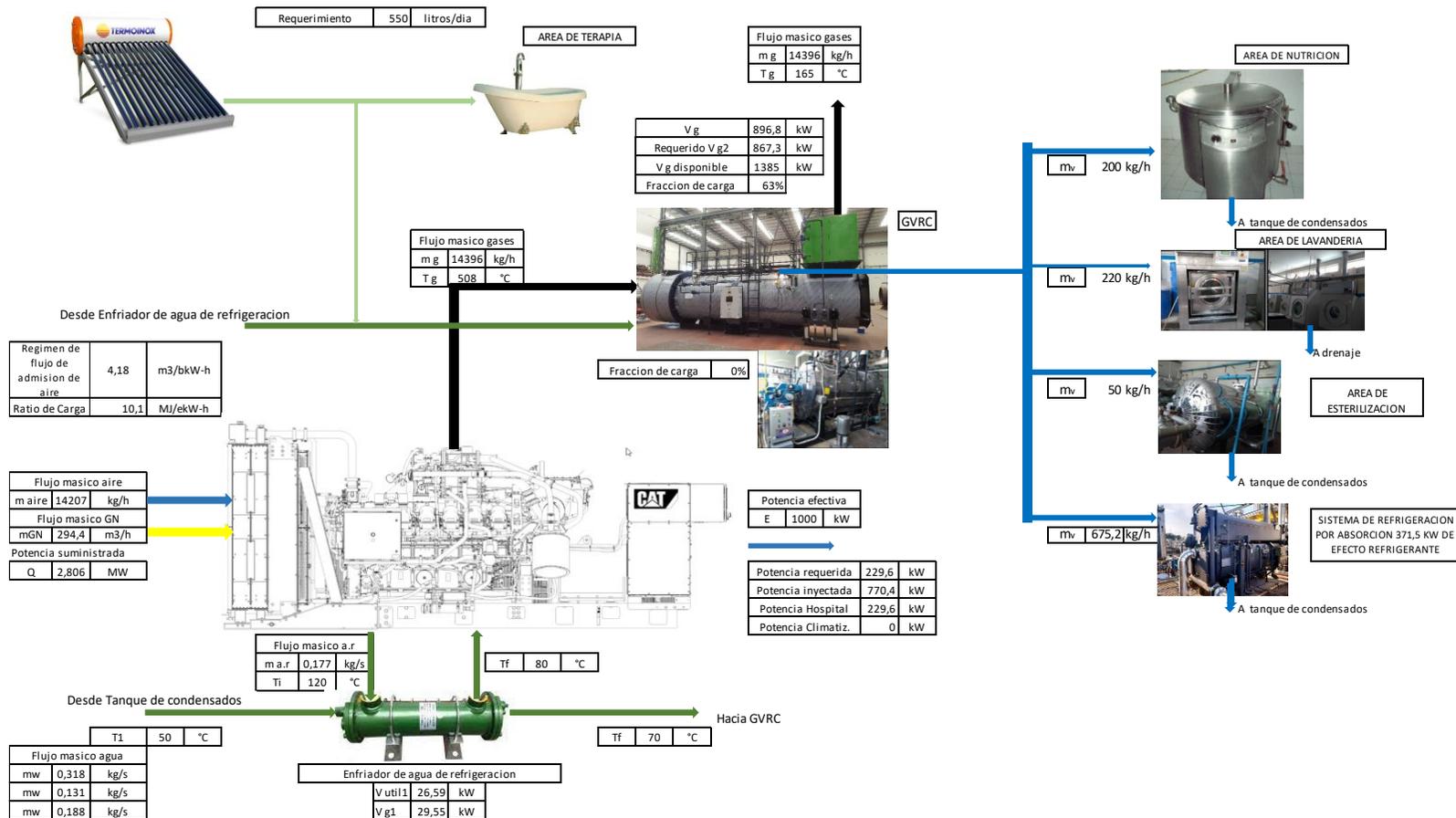
Propuesta de poligeneración con G3412C Gas Generator Sets CAT de 500 kW



Nota. Elaboración propia

Figura 41

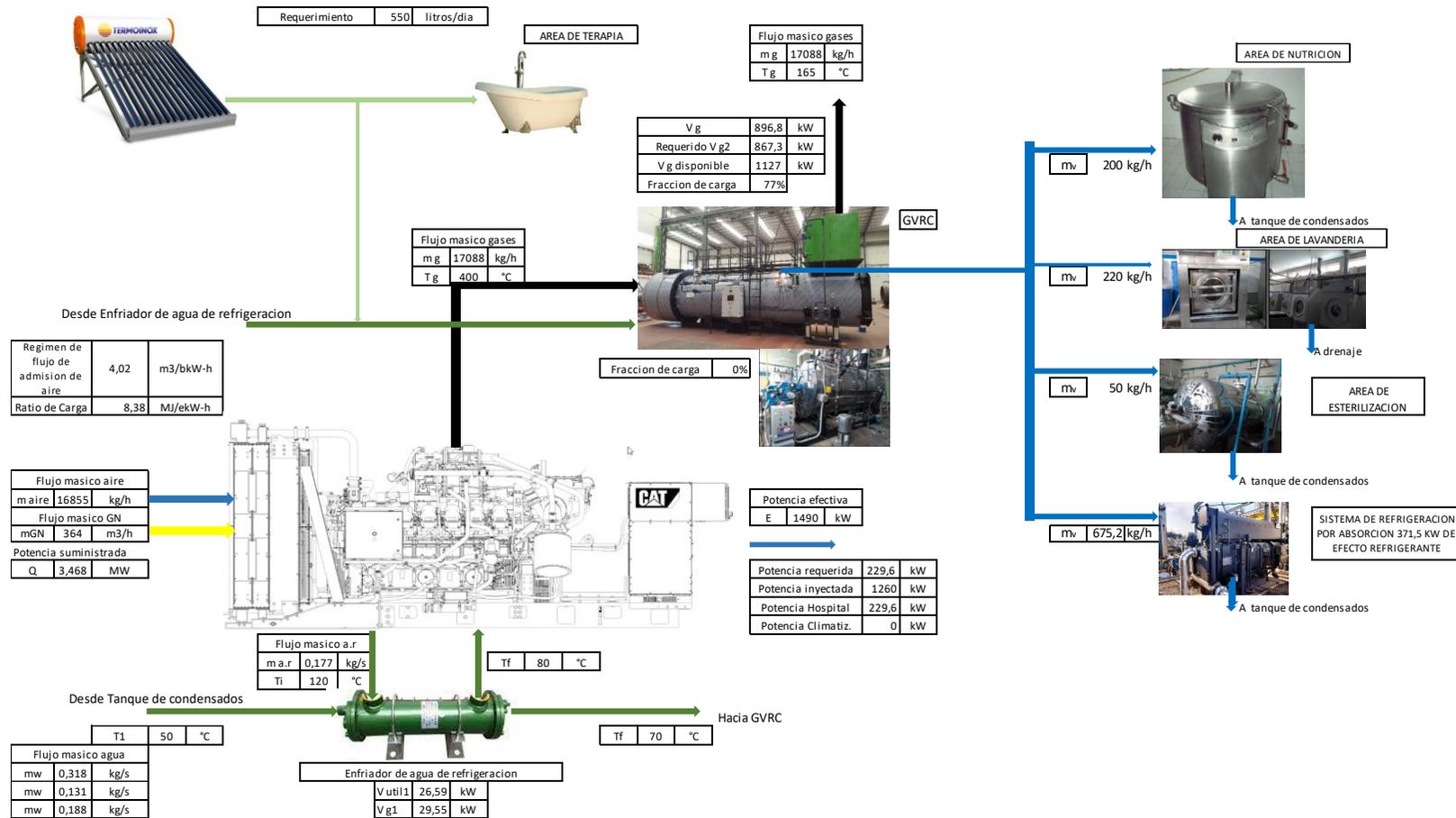
Propuesta de poligeneración con G3512 Gas Generator Sets CAT de 1 000 kW.



Nota. Elaboración propia

Figura 42

Propuesta de poligeneración con G3512H Gas Generator Sets CAT de 1 490 kW.



Nota. Elaboración propia

Se presenta un análisis comparativo de los sistemas de poligeneración.

Con referente a la cogeneración calificada, la alternativa G3412C Gas Generator Sets CAT de 500 kW no cumple con el criterio de calificación del REE al alcanzar un valor de 0,53 (inferior al valor mínimo de 0,54).

Tabla 8

Cumplimiento de criterios de calificación con Tecnologías de generación

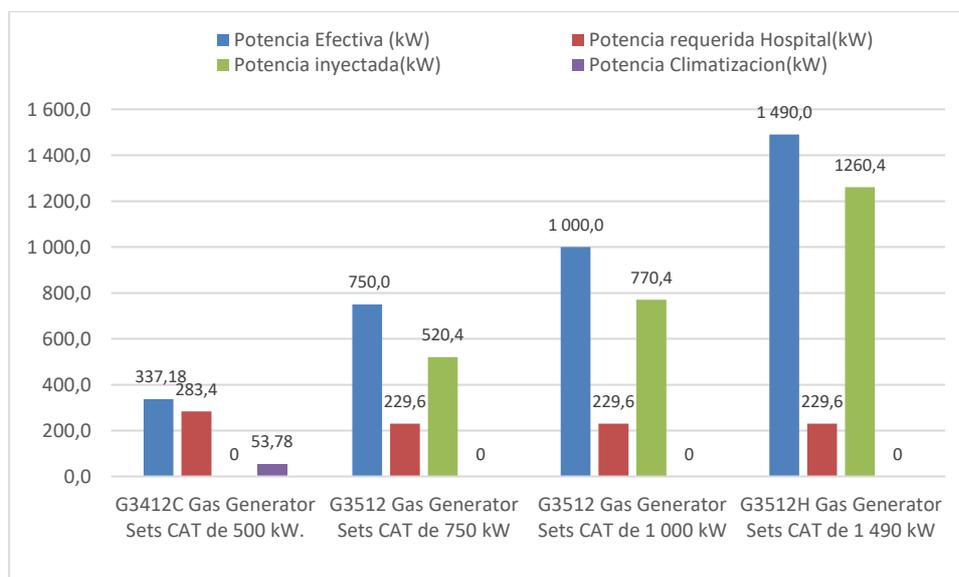
Tecnología	C	REE	Cumplimiento
G3412C Gas Generator Sets CAT de 500 kW.	0,89	0,53	NO
G3512 Gas Generator Sets CAT de 750 kW	0,84	0,62	SI
G3512 Gas Generator Sets CAT de 1 000 kW	1,12	0,55	SI
G3512H Gas Generator Sets CAT de 1 490 kW	1,66	0,6	SI

Nota. Elaboración propia.

Con referente a las potencias eléctricas características, la alternativa con tecnología de generación G3512 Gas Generator Sets CAT de 750 kW, genera 750 kW, de los cuales 229,6 kW son suministrados al Hospital y 520,4 kW inyectados a la red, cubriendo la totalidad de la potencia de las potencias de climatización con el sistema de refrigeración por absorción. Mientras con la tecnología G3512H Gas Generator Sets CAT de 1 490 kW inyecta a la red eléctrica externa 1 260,4 kW.

Figura 43

Potencias características de tecnologías de generación

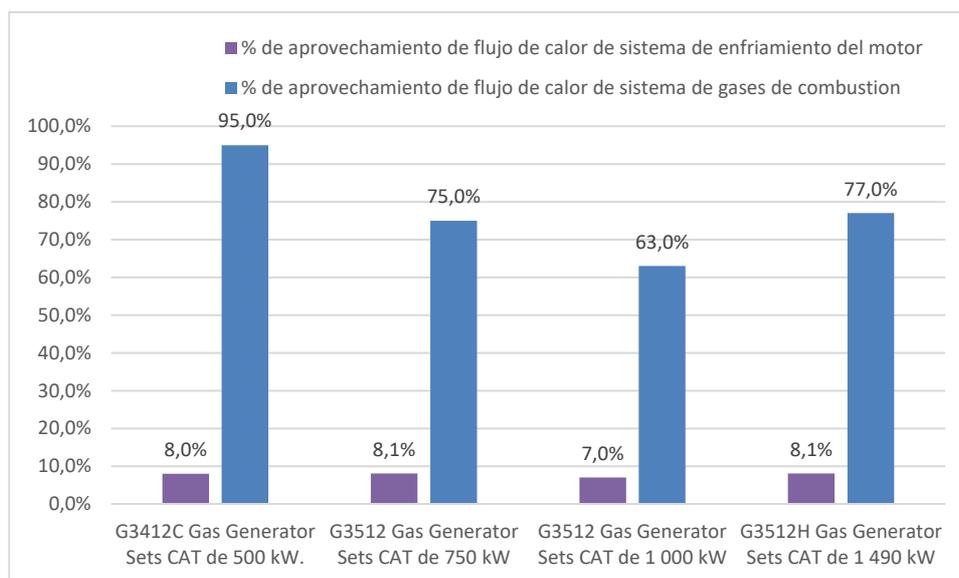


Nota. Elaboración propia

Con referente al grado de aprovechamiento de los flujos de calor provenientes del mci, estos son del orden de 7,0% a 8,1% para el enfriador del agua del sistema de refrigeración, mientras que el grado de aprovechamiento del flujo de calor de los gases de la combustión salientes del mci es entre 63 % a 95%.

Figura 44

Grado aprovechamiento de flujo de calor.



Nota. Elaboración propia

### 4.3 Estimación del ahorro de energía primaria.

4.3.1 Sistema convencional inicial. (Los cálculos toman como referencia el mes de abril 2023, fecha en donde se ha realizado la máxima demanda eléctrica)

a. Referente al combustible.

Se determina el equivalente de combustible para la generación diaria de vapor:

Para 67,6 kg/día de vapor asociado a la generación de agua caliente sanitaria.

Además, integrando los valores de la figura 39 Diagrama de carga térmica coincidente se tiene un consumo de vapor de 5 910 kg/día de vapor asociado al consumo en las áreas de lavandería, cocina y esterilización.

$$\dot{m}_v = 5\,910 + 67,6 = 5\,977,6 \text{ kg/día}$$

Tomando en cuenta:

Eficiencia del caldero de 100 BHP = 85 %

Densidad del Petróleo BD5= 3.29 kg/galón.

Poder calorífico BD5= 9 860 kcal/kg =41 214 kJ/kg

Considerando la temperatura de retorno de condensados de 50 °C y una presión de bombeo de agua de 10 bar, se tiene una entalpia especifica de  $h_1$  210,1 kJ/kg.

La presión de vapor saturado a 5 bar con lo cual la entalpia especifica como vapor saturado  $h_2$  es 2 747,5 kJ/kg.

$$\eta = \frac{\dot{m}_v * (h_2 - h_1)}{\dot{m}_{BD5} * PCI} * 100\%$$

$$85\% = \frac{5\,977,6 \frac{kg}{dia} * \frac{(2\,747,5 - 210,1)kJ}{kg}}{\dot{m}_{BD5} * 41\,214 \frac{kJ}{kg} * 3,29 \frac{kg}{gal}} * 100\%$$

$$\dot{m}_{BD5} = 131,6 \text{ gal/dia}$$

El flujo de combustible equivalente es 131,6 gal/día = 3 948 gal/mes

$$\text{Energia primaria entrante} = 3\,948 \text{ gal/mes} * 41\,214 \frac{kJ}{kg} * 3,29 \frac{kg}{gal}$$

$$\text{Energia primaria entrante} = 535'325\,349 \text{ kJ/mes}$$

Precio del combustible= 16,6 Soles/galón (Precio de abril 2023)

Facturación mensual de Petróleo BD5=S/ 65 536,8 mes

b. Referente a la energía eléctrica.

Para el mes de marzo 2023 se tienen los siguientes resultados:

Energía activa total 118 094,4 kWh/mes

Se toma en cuenta las siguientes eficiencias:

Eficiencia de los sistemas de distribución de Hidrandina: 14,9 % obtenido del II Informe Trimestral de Información Comercial 2023 de OSINERGMIN Pagina 102.

[https://www2.osinergmin.gob.pe/publicacionesgrt/pdf/InfoComercial/IC%20InformeComercial\\_2023\\_2Trimestre.pdf](https://www2.osinergmin.gob.pe/publicacionesgrt/pdf/InfoComercial/IC%20InformeComercial_2023_2Trimestre.pdf)

Eficiencia promedio de la red de transmisión 7% (para las pérdidas técnicas permitidas)  
 Asumiendo que la generación de energía proviene de la Central Termoeléctrica de Santa Rosa TG7 con gas natural con un Heat Rate de 11,25 MMBTU/MWh con un rendimiento de planta de 37%. La central actualmente cubre el valor de la máxima demanda del Sistema Eléctrico. Según el informe N° 248-2023-GRT (marzo 2023) para la fijación de los precios en barra mayo 2023-abril 2024.

<https://www.osinergmin.gob.pe/Resoluciones/pdf/2023/Informe%20Tecnico%20248-2023-GRT.pdf>

$$Energia\ primaria = \frac{118\ 094,4}{0,37 * 0,93 * 0,851} = 403\ 287,79\ kWh/mes$$

$$Energia\ primaria = 1\ 451'836\ 064\ kJ/mes$$

Con referente al costo de la facturación de energía eléctrica se tiene los siguientes resultados:

*Tabla 9*  
 Facturación mes abril 2023

<b>Magnitud</b>	<b>Demanda</b>	<b>Unidad</b>	
PHP	228,60	kW	
PHFP	282,60	kW	
EAHP	19 999,80	kWh	
EAHFP	98 094,60	kWh	
EAT	118 094,40	kWh	
ER	65 070,00	KVar	
<b>Cargo</b>	<b>Valor</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Total(S/)</b>
Cargo Fijo	12,30	1	12,30
EAHFP	98 094,60	0,27	26 485,54
EAHP	19 999,80	0,3252	6 503,93
PAG	282,60	58,85	16 631,01
PARDU	282,60	14,38	4 063,79
ER	29 641,68	0,0484	1 434,66
TARIFA con IGV (S/)			65 054,85

*Nota.* Elaboración propia.

- c. Energía primaria sistema convencional.

Resumen:

Energía Primaria:

$$Energia\ primaria\ sc = \frac{535'325\ 349 + 1\ 451'836\ 064}{10^6} = 1\ 987\ GJ/mes$$

Costo por facturación de insumos energéticos=

$$Facturacion\ mensual\ sc = 65\ 536,8 + 65\ 054,85 = S/130\ 591,65$$

#### 4.3.2 Sistema de poligeneración.

Para un sistema con tecnología: G3512 Gas Generator Sets CAT de 750 kW.

Para el mes de marzo 2023 se tienen los siguientes resultados:

Energía activa total 118 094,4 kWh/mes. = 425'139 840 kJ/mes

Analizando la eficiencia del grupo electrógeno:

$$34\% = \frac{425'139\ 840\ \frac{kJ}{mes}}{Energia\ primaria\ entrante\ sp} * 100\%$$

$$Energia\ primaria\ entrante\ sp = 1\ 250'411\ 294\ kJ/mes$$

$$Energia\ primaria\ entrante\ sp = 1\ 250,4\ GJ/mes$$

Seguidamente se determinan los costos por consumo de gas natural para el G3512 Gas Generator Sets CAT de 750 kW.

Producción total de energía:

$$Produccion\ total\ de\ energia = 750 * 24 * 31 = 558\ 000\ kWh/mes$$

Su consumo de gas natural es:

$$Consumo\ mes\ GN = 231\ \frac{m^3}{h} * 24 * 31 = 171\ 864\ \frac{m^3}{mes}$$

A un costo 3,9887 U\$/MMBTU (Fuente: informe N°248-2023-GRT (marzo 2023) para la fijación de los precios en barra mayo 2023-abril 2024.

Densidad del gas natural= 0,64 kg/m<sup>3</sup>.

1 MMBTU= 28 m<sup>3</sup>.

$$Facturacion_{GN} = 171\,864 \frac{m^3}{h} * \frac{MMBTU}{28\,m^3} * 3,9887 \frac{U\$}{MMBTU} * \frac{3,8\,Soles}{U\$} = 93\,034 \frac{Soles}{mes}$$

Del mismo modo se inyecta un total de energía eléctrica igual a:

$$Inyeccion_{EE} = 558\,000 - 118\,094,4 = 439\,905,6 \text{ kWh/mes}$$

Ingresos por venta de energía eléctrica.

A un precio de 0,2299 Soles/kWh. Precio de la energía en la barra de Chimbote 220 kV. (Fuente: informe N°248-2023-GRT (marzo 2023) Pagina 12, para la fijación de los precios en barra mayo 2023-abril 2024.

$$Ingresos\ por\ Inyeccion_{EE} = 439\,905,6 \frac{kWh}{mes} * 0,2299 \frac{Soles}{kWh} = 101\,134,3 \frac{Soles}{mes}$$

Saldo de flujo de caja:

$$Ingresos\ Netos = 101\,134,3 - 93\,034 = 8\,100,3 \frac{Soles}{mes}$$

#### 4.3.3 Benchmarking energético.

Se presenta el comparativo de ahorro de energía primaria entrante y su costo para el sistema convencional inicial y para el sistema de poligeneración.

Tabla 10

#### Benchmarking energético

Sistema convencional inicial	Sistema de poligeneración	Saldo final
Energía primaria entrante al Hospital= 1 987 GJ/mes	Energía primaria entrante al Hospital= 1 250,4 GJ/mes	Ahorro de energía primaria 736,6 GJ/mes
Facturación total= 130 591,61 Soles/mes	Ingresos totales= 8 100,3 Soles/mes	Ahorro económico= 138 691,91 Soles/mes

Nota. Elaboración propia.

Se tiene un ahorro de energía primaria de:

$$\text{Ahorro de energía primaria} = \frac{736,6}{1\,987} * 100\% = 37,07\%$$

#### 4.4 Discusión de resultados.

Según lo definido por Álvarez, J. (2010), la poligeneración es aplicable en forma conjunta a la cogeneración como la implementación de 4 tipos de tecnologías integradas en un centro de consumo de energía, para la presente investigación se ha acoplado un sistema de calentamiento de agua sanitaria con termas solares a un sistema de cogeneración que cubre las demandas eléctricas y térmicas, incluido la carga térmica requerida por un sistema de refrigeración por absorción.

En la investigación de Felbol, C. (2016) se acoplan colectores lineales fresnel para generación de electricidad, frío y calor para procesos industriales y agua desalinizada, donde emplean una superficie de 1 143.770 m<sup>2</sup>, con lo cual se pudo procesar hasta 32,328 m<sup>3</sup>/día, satisfaciendo las demandas térmicas y eléctricas del complejo industrial. A diferencia la presente investigación requiere de 9,58 m<sup>2</sup> de área de contacto para el sistema de calentamiento de agua, con el cual se reemplaza los 67,6 kg/día de vapor asociado a la generación de agua caliente sanitaria. Del mismo modo con los flujos de calor del sistema de enfriamiento del motor y de los gases de la combustión se llegan a producir 470 kg/h de vapor asociado al consumo en las áreas de lavandería, cocina y esterilización y 675 kg/h para los sistemas de climatización y cubre los 229,6 kW eléctricos requeridos por el hospital.

Asi mismo Marimon, M (2011) integra una planta de Trigeneración de energía mediante un sistema de refrigeración por compresión de vapor para proveer electricidad, calor y refrigeración para un supermercado para ello hace uso de la refrigeración por absorción para la generación de temperaturas bajo cero, para ello el sistema agua-amoniaco es el empleado, con lo cual la propuesta se realiza con una microturbina a gas. A diferencia la presente investigación incluye un sistema de agua caliente sanitaria generado por termas solares, mientras que un grupo electrógeno se encarga de la generación de energía eléctrica y de la energía térmica para las áreas de servicio de un hospital y para el vapor requerido para el sistema de refrigeración por absorción con agua y bromuro de litio empleado en un sistema de climatización.

Mendoza, J. (2020) plantea la implementación de un sistema de poligeneración para un municipio con una demanda de 510,5 kW de potencia eléctrica y 445,27 MWh/mes, para cubrir el 28,9% del consumo de energía eléctrica de la ciudad, reemplazando un sistema de generación con grupos electrógenos con petróleo BD5. En el sistema de poligeneración planteado en la presente investigación se ha cubierto la totalidad del requerimiento de energía térmica y eléctrica presentándose como la mejor alternativa un G3512 Gas Generator Sets CAT de 750 kW el cual es aplicado a un Hospital con requerimientos de energía eléctrica para usos en el hospital y en el sistema de climatización, y del mismo modo para cubrir la demanda térmica para vapor saturado en las áreas de lavandería, cocinado, esterilización y agua caliente sanitaria, sustituyéndose al petróleo BD5 por gas natural.

Mientras que un caso particular realizado por Portella, R. (2022) diseñando un sistema de poligeneración para un hotel incluye 3 alternativas de implementación, donde la mejor configuración incluye un grupo electrógeno de 128 kW, sistemas de refrigeración por absorción de 258 kW y 176 kW y un chiller eléctrico convencional de 148 kW y colectores solares equivalentes a 49 kW para la generación de agua caliente para el reemplazo de termas eléctricas. De manera parecida, en la presente investigación se presentan 4 alternativas de autogeneración con un sistema de poligeneración que incluye un generador con mci de 750 kW, un chiller de absorción con agua y bromuro de litio de 371 kW y un total de 03 termas solares de 300 litros para generar agua caliente sanitaria.

Rojas, D. (2015) en su investigación plantea en su diseño de Trigeneración con componentes para el sistema de cogeneración, calderas auxiliares, equipos de refrigeración por compresión, equipos de refrigeración por absorción, almacenamiento de frío. Con lo cual no se abastece totalmente la demanda requerida, a diferencia del presente estudio que cubre el 100% de la demanda térmica y eléctrica, inyectando sus excedentes a la red pública de eléctrica, acoplado termas solares para la generación de agua caliente.

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

### 5.1 Conclusiones.

- Se caracterizo la carga energética del Hospital determinándose que la máxima demanda eléctrica es de 315 kW (con 229,6 kW para suministro eléctrico en el Hospital y 85,4 kW para los sistemas de climatización), se requiere 67,6 kg/día de vapor saturado para la generación de agua caliente sanitaria y 470 kg/h como máxima demanda de vapor saturado para cubrir los servicios de lavandería, cocción y esterilización, consumiéndose 131,6 galón/día de petróleo BD5. Del mismo modo la demanda eléctrica de climatización es de 371,5 kW.
- Se ha realizado el arreglo del sistema de poligeneración para el autoabastecimiento total de energía para el hospital mediante la generación de energía eléctrica con grupo electrógeno con gas natural, así mismo el vapor requerido para las áreas de lavandería, cocción, esterilizado y el generador del sistema refrigeración por absorción, se obtiene mediante el aprovechamiento del agua del sistema de refrigeración del motor y en un generador de vapor recuperador de calor que aprovecha los gases calientes de la combustión del motor del grupo electrógeno. Mientras el agua caliente sanitaria se genera a través de termas solares, independizándose de la generación de vapor.
- El sistema de poligeneración para el autoabastecimiento de energía, sugerido tiene como base el G3512 Gas Generator Sets CAT de 750 kW, que consume 231 m<sup>3</sup>/h de gas natural, abasteciendo el 100% de la energía eléctrica requerida (229,6 kW) y 100% de la demanda térmica requerida, incluido los 371,5 kW necesarios para el sistema de refrigeración de absorción, mientras que el agua caliente sanitaria es cubierta por 3 termas solares de 300 litros c/u.
- Se estimo la reducción de energía primaria para la propuesta de implementación del sistema de poligeneración, teniendo como resultado el ahorro de energía primaria térmica de 736,6 GJ/mes, lo que representa un porcentaje de ahorro de 37,07% mientras que además se tiene un ahorro económico de 136 691,91 Soles/mes.
- En respuesta a la hipótesis de la presente investigación se concluye con los sistemas de Poligeneración de generación que permiten la autogeneración de energía total en un centro de salud se caracterizan por estar conformados por un sistema de

Trigeneración de energía, colectores solares y una máquina de refrigeración por absorción, y en este caso no se han empleado tanques de acumulación de agua caliente.

## 5.2 **Recomendaciones.**

- Los tanques de acumulación normalmente se emplean cuando se requieren demandas de agua caliente en horarios nocturnos, pero en el hospital no se requiere agua caliente en las noches, por lo cual no ha sido necesario su instalación. Mas bien se recomienda su empleo para usarse en caso de aseo para pacientes hospitalizados, para lo cual el número de colectores se incrementaría.
- Es recomendable realizar más adelante una comparación ambiental entre el sistema de generación convencional y el sistema de poligeneración, para evaluar el componente de emisiones que tiene cada unidad de generación de energía.
- Se recomienda realizar estudios de la implementación de sistemas de poligeneración en centros de hospedaje que requieran agua caliente, con lo cual se pueden presentar alternativas de cambio del tipo de abastecimiento convencional de energía que se viene realizando y migrar hacia los sistemas de poligeneración.
- Si bien es cierto resulta rentable la implementación de los sistemas de poligeneración con cogeneración calificada por los ahorros económicos obtenidos en la investigación, es un trabajo pendiente realizar un VAN o TIR para evaluar la rapidez de la rentabilidad.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

### Tesis.

Aguilar, Evangelista, Loyola & Ramírez (2016). Optimización de redes de intercambiadores de calor en endulzamiento de gas natural vía tecnología pinch. Revista Científica “Ciencia y Tecnología”, Año 12, N° 3, 2016, 167-184. ISSN: 2306 – 2002(digital). Disponible en:

<https://www.studocu.com/es-mx/document/universidad-autonoma-de-nuevo-leon/la-materia-y-sus-transformaciones/1488-4287-1-pb/12480926>

Aguilar, R. (2021). Cogeneración de energía con grupos electrógenos para la generación de agua caliente sanitaria. Tesis para optar el título de Ingeniero en Energía, Universidad Nacional del Santa, Perú. Disponible en:

<https://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/3911>

Arias, E. & 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. Tesis para optar el título de Ingeniero en Energía, Universidad Nacional del Santa, Perú. Disponible en:

<https://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/2364>

Ballestas, S. (2012). TRIGENERACIÓN INDUSTRIAL-CALCULOS TERMODINÁMICOS Y ECONÓMICOS CASO ABOCOL CARTAGENA. Tesis de Ingeniero Mecánico. Universidad Simón Bolívar. Venezuela. Disponible en:

<https://repositorio.utb.edu.co/bitstream/handle/20.500.12585/1201/0063121.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Bernal, M (2021). Las causas del problema energético. Artículo de opinión Diario El Economista. España. Disponible en:

<https://www.economista.es/opinion-blogs/noticias/11424462/10/21/Las-causas-del-problema-energetico.html>

Cam, F. & Chunga, E. (2013) Influencia del incremento de la potencia efectiva en cogeneración de energía de la empresa Cartavio S.A.A-Perú. Tesis para optar el título de Ingeniero en Energía, Universidad Nacional del Santa, Perú. Disponible en: <https://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/2496>

Carranza, E. (2021). Autoabastecimiento de energía mediante cogeneración por el incremento de la demanda eléctrica y térmica-Empresa OLPESA. Tesis para optar el título de Ingeniero en Energía, Universidad Nacional del Santa, Perú. Disponible en: <http://repositorio.uns.edu.pe/handle/UNS/3767>

CONAE. (2014). Estrategia Nacional de Cambio Climático – México. Disponible en: [https://issuu.com/pacc\\_peru/docs/cc\\_10019](https://issuu.com/pacc_peru/docs/cc_10019)

Cruz, A., Pérez, O., Pérez, J. & Zumalacárregu, L. (2021). Energy integration of the concentrated stillage incineration and electricity generation process. Revista Universidad y Sociedad, Universidad de Cienfuegos, Cuba. 13(6), 286-294. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/rus/v13n6/2218-3620-rus-13-06-286.pdf>

Domínguez, M. (2020). Evaluación de un Sistema de Poligeneración para la Sostenibilidad Energética en el Corregimiento Cañaveral-Bolívar. Tesis Doctoral. Universidad de la Costa de Barranquilla. Colombia. Disponible en: <https://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/7076/Evaluaci%C3%B3n%20de%20un%20sistema%20de%20poligeneraci%C3%B3n%20para%20la%20sostenibilidad%20energ%C3%A9tica%20en%20el%20corregimiento%20Ca%C3%B1averal-Bol%C3%ADvar.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Erices, J. (2014). “Estudio de factibilidad técnico y económica para implementar plantas de cogeneración para satisfacer necesidades energéticas hasta 9 MW. Tesis para optar el título de Ingeniero Civil Mecánico en la Universidad de Bio Bio en Chile, <http://repobib.ubiobio.cl/jspui/handle/123456789/1669>

Felbol, C. (2016). Diseño de una planta de poligeneración solar con colectores lineales fresnel para generación de electricidad, frío y calor para procesos industriales y agua desalinizada. Tesis para optar título de Ingeniero Mecánico. Pontificia Universidad Católica de Chile. Disponible en:

<file:///C:/Users/HP%20250/Downloads/000676535.pdf>

Fernández, O. (2010). Central de poligeneración de alta eficiencia en una industria química. Tesis para título de Ingeniero Industrial en Universidad de Cataluña. España. Disponible en:

<https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/9359>

Fuentes, L. (2017). Diseño óptimo de sistemas de poligeneración sustentables para unidades habitacionales. Tesis de grado de Doctor en Ciencias en Ingeniería Química. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Mexico. Disponible en:

[http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/bitstream/handle/DGB\\_UMICH/5721/FIQ-D-2017-0958.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/bitstream/handle/DGB_UMICH/5721/FIQ-D-2017-0958.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Gasco, M. (2013). Integración de energías renovables en redes eléctricas inteligentes. Tesis doctoral Ingeniería Eléctrica. Universidad de Alicante. España. Disponible en:

[https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/36695/1/tesis\\_manuel\\_gasco.pdf](https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/36695/1/tesis_manuel_gasco.pdf)

Guerrero, M. (2020). Gestión e integración de recursos energéticos naturales en edificios residenciales. Tesis Doctoral Doctorado Ingeniería Energética, Química y Ambiental. Universidad de Sevilla. España. Disponible en:

<https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/102298/Guerrero%20Delgado%2C%20Carmen%20Tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Guevara, R. (2020). Manual I de Plantas Consumidoras de Energía. Universidad Nacional del Santa. Perú. Disponible en:

[https://www.academia.edu/39558679/UNIVERSIDAD\\_NACIONAL\\_DEL\\_SANTA\\_FACULTAD\\_DE\\_INGENIERIA\\_DEPARTAMENTO\\_ACADEMICO\\_DE\\_ENERGIA\\_Y\\_FISICA\\_CURSO\\_PLANTAS\\_CONSUMIDORAS\\_DE\\_ENERGIA\\_SEPAR](https://www.academia.edu/39558679/UNIVERSIDAD_NACIONAL_DEL_SANTA_FACULTAD_DE_INGENIERIA_DEPARTAMENTO_ACADEMICO_DE_ENERGIA_Y_FISICA_CURSO_PLANTAS_CONSUMIDORAS_DE_ENERGIA_SEPAR)

## ATA\_I\_UNIDAD\_LAS\_PLANTAS\_CONSUMIDORAS\_DE\_ENERGIA\_Y\_LOS\_FLUIDOS\_ENERGETICOS\_INDUSTRIALES

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.

<https://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14278/3563/50095.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Marimon, M. (2011). Modelización y análisis energético de configuraciones de trigeneración en edificios. Tesis doctoral en la Universitat Rovira i Virgili. España. Disponible en:

<https://www.tesisenred.net/handle/10803/37356>

Mendoza, J. (2020), Diseño de un sistema de poligeneración para una zona de la región pacífica colombiana. Tesis para optar título de Ingeniero Mecánico en Universidad Santo Tomas de Colombia. Disponible en:

<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/35444/2021juanmendoza.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Montalbán, B. (2021). Propuesta de integración de un sistema de generación distribuida en la empresa Aldur Nutripellet para determinar los efectos técnicos en la red de media tensión. Tesis para título de Ingeniero Mecánico Electricista. Universidad Santo Toribio de Mogrovejo. Perú. Disponible en:

[https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/3416/1/TL\\_MontalvanGarciaBrayan.pdf](https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/3416/1/TL_MontalvanGarciaBrayan.pdf)

Osinermin (2023). Pliego Tarifario Máximo del Servicio Público de Electricidad. Osinermin. Perú. Disponible en:

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

Osinermin, (2023) Informe N° 248-2023-GRT. Determinación de precios en barra. Osinermin. Perú. Disponible en:

<https://www.osinergmin.gob.pe/Resoluciones/pdf/2023/Informe%20Tecnico%20248-2023-GRT.pdf>

Pedraza, L. (2017). Aplicación de la tecnología pinch para el proceso de destilación extractiva para la mezcla propano-propileno. Tesis de Ingeniero Químico. Instituto Politécnico Nacional de México. Disponible en:

<https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/23071/1/Tesis%20Aplicaci%C3%B3n%20de%20la%20tecnologia%20pinch%20para%20el%20proceso%20de%20destilaci%C3%B3n%20extractiva%20para%20la%20mezcla%20propano-propileno.pdf>

Portella, R (2022). Estudio de factibilidad de un sistema de poligeneración para un hotel de cinco estrellas en la ciudad de Trujillo (Perú). Tesis para optar el título de Ingeniero en Energía. UTEC. Perú. Disponible en:

<https://repositorio.utec.edu.pe/handle/20.500.12815/286>

Quesquén, N, & Sánchez, E, (2014) Evaluación de los procesos energéticos para su optimización en la ampliación de molienda del ingenio San Jacinto S.A. Tesis para optar el título de Ingeniero en Energía. Universidad Nacional del Santa. Perú. Disponible en:

<https://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/1919>

Ramírez. (2016). ¿Cómo funciona el sistema de enfriamiento del motor?. Página Web AUTOSOPORTE. Disponible en:

<https://www.autosoporte.com/index.php/blog-automotriz/item/447-como-funciona-el-sistema-de-enfriamiento>

Ramos, J. (2014). Thermoeconomic analysis of energy systems. Mexico. Disponible en:

[https://www.researchgate.net/figure/Figura-12-Sistema-de-cogeneracion-con-turbina-de-gas-TGAS-La-tabla-12-muestra-los\\_fig1\\_308992378](https://www.researchgate.net/figure/Figura-12-Sistema-de-cogeneracion-con-turbina-de-gas-TGAS-La-tabla-12-muestra-los_fig1_308992378)

Ramos, J., Encinas, A., Lozano, M. & Serra, L. (2008). Poligeneración: hacia una utilización sostenible de los recursos naturales. Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Zaragoza. España. Disponible en:  
<https://docplayer.es/13960447-Poligeneracion-hacia-una-utilizacion-sostenible-de-los-recursos-naturales.html>

Rodríguez, G. (2008). Aplicación de la exergía para incrementar la potencia de un turbocompresor booster de un sistema de refrigeración por absorción en una plataforma marina. Tesis de maestría. Instituto Superior Politécnico. México. Disponible en:  
<https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/16876/1/Aplicaci%C3%83%C2%B3n%20de%20la%20energía%20para%20incrementar%20la%20potencia%20del%20turbocompresor%20Booster%20en%20un%20sistema%20de%20enfriamiento%20por%20absorci%C3%83%C2%B3n%20en%20una%20plataforma%20marina%20de%20produccion.pdf>

Rojas, L. (2021). Relacion entre la capacidad de cogeneración y la cobertura de la demanda en empresa Cantarana S.A. Tesis para optar el título de Ingeniero en Energía. Universidad Nacional del Santa. Perú. Disponible en:  
<http://repositorio.uns.edu.pe/handle/UNS/3731>

Rojas, D. (2015). Modelo para la síntesis óptima de sistemas de cogeneración bajo demandas variables en el tiempo de calor, electricidad y frío. Tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico en Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Cuba. Disponible en:  
<https://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/6449/Rojas%20Plana%20David.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Roque, P. & Rubio, A. (2014). Viabilidad de proyectos de poligeneración. Aspectos metodológicos y normativos. Artículo de Conferencia: 9a CONFERENCIA CIENTIFICA INTERNACIONAL DE INGENIERIA MECANICA COMEC 2014, Disponible en.  
[https://www.researchgate.net/publication/268685358\\_Viabilidad\\_de\\_proyectos\\_de\\_poligeneracion\\_Aspectos\\_metodologicos\\_y\\_normativos](https://www.researchgate.net/publication/268685358_Viabilidad_de_proyectos_de_poligeneracion_Aspectos_metodologicos_y_normativos)

Rubio, D. (2019) CICLO DE TRIGENERACIÓN PARA USO HOSPITALARIO. Tesis de maestría en Ingeniería Industrial Universidad de Valladolid. España. Disponible en:

<https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/36831/TFM-I-1133.pdf?sequence=1>

Sánchez, L. (2010). Modelos de poligeneración energética distribuida en áreas residenciales. Tesis de grado de maestría. Universidad Politécnica de Madrid. España. Disponible en:

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=172595>

Sandoval, L. (2021). Potencia de grupos electrógenos para la cobertura de demanda de energía en S.E Sechura. Tesis para optar el título de Ingeniero en Energía, Universidad Nacional del Santa, Perú. Disponible en:

<https://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/3772>

Saravia, J. C. R. (2012). Optimización del diseño y operación de sistemas de cogeneración para el sector residencial comercial. Tesis Doctoral. Universidad de Zaragoza. Disponible en:

<https://zaguan.unizar.es/record/9901>

Serra, L. (2022). Los sistemas de poligeneración contribuyen a la descarbonización. Universidad de Zaragoza. Disponible en:

<http://www.unizar.es/noticias/los-sistemas-de-poligeneracion-contribuyen-la-descarbonizacion>

Velásquez. (2020). Diseño de sistemas de suministro de energía térmica para procesos industriales asistidos con energía solar de baja temperatura. Tesis para optar el grado de Maestro en Ingeniería Química. Universidad de Guanajuato. México.

<http://www.repositorio.ugto.mx/handle/20.500.12059/2206>

Visbal, E, & Proaño, J. (2014). Análisis de integración energética por el método pinch de la unidad de destilación primaria de la refinería de Talara – Perú. Universidad de san buenaventura seccional Cartagena. Colombia. Disponible en:  
<https://bibliotecadigital.usb.edu.co/server/api/core/bitstreams/7caaa600-7785-4748-8d8b-d02b48316d32/content>

## **VII. ANEXOS**

Anexo 1: Cantidad de agua caliente usada por diferentes sectores.

Anexo 2: Cálculos de la radiación solar incidente.

Anexo 3: Especificaciones técnicas de terma solar de TERMOSOL

Anexo 4: Determinación de puntos del sistema de refrigeración por absorción.

Anexo 5: Diagrama entalpia y porcentaje de bromuro de litio

Anexo 6: Diagrama de solución acuosa de bromuro de litio.

Anexo 7: Especificaciones de Grupos Electrógenos a Gas G3512 CAT

Anexo 8: Especificaciones de G3512H continuo CAT

Anexo 9: Especificaciones de G3412C Gas Generator Sets CAT

Anexo 1: Cantidad de agua caliente usada por diferentes sectores.

Criterio de demanda	Litros ACS/día	
Viviendas unifamiliares	30	por persona
Viviendas multifamiliares	22	por persona
Hospitales y clínicas	55	por cama
Hotel****	70	por cama
Hotel***	55	por cama
Hotel/Hostal**	40	por cama
Camping	40	por emplazamiento
Hostal/Pensión*	35	por cama
Residencia (ancianos, estudiantes, etc.)	55	por cama
Vestuarios/Duchas colectivas	15	por servicio
Escuelas	3	por alumno
Cuarteles	20	por persona
Fábrica y talleres	15	por persona
Administrativos	3	por persona
Gimnasios	20 a 25	por usuario
lavanderías	3 a 5	por kilo de ropa
Restaurantes	5 a 10	por comida
Cafeterías	1	por almuerzo

*Fuente: Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios. RITE*

Nota. Obtenido de <https://www.idae.es/tecnologias/eficiencia-energetica/edificacion/reglamento-de-instalaciones-termicas-de-los-edificios>

Anexo 2: Valores cálculos de la radiación solar incidente.

$H_T$ MJ/m <sup>2</sup>	Inclinación S(°)										
	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°
Mes más bajo	14,4	15,07	15,65	16,15	16,55	16,86	17,08	17,19	17,21	17,23	16,95
Anual	217,8	218,8	218,7	217,4	215	211,4	206,8	201,1	194,5	186,8	178,4
Periodo frío (Mayo-Octubre)	99	101,5	103,4	104,8	105,6	105,8	105,4	104,4	102,9	100,8	98,1
Periodo Cálido (Noviembre-Abril)	118,8	117,3	115,3	112,6	109,4	105,6	101,1	96,7	91,6	86	80,3

Nota. Obtenido de

<https://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14278/1924/27240.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

### Anexo 3: Especificaciones técnicas de terma solar de TERMOSOL

## Termosolar Compacto de Aluminio-Zinc

### Características

- Tanque exterior de Aluminio Zinc de 0.4 mm.
- Tanque interior de Acero Inoxidable 304 de 0.5 mm.
- Soportes: Chapa Galvanizada con pintura Epoxi 1.5 mm.
- Preservación de la temperatura 72 horas.
- Aislante de Tanque Poliuretano Expandido de Alta densidad de 55 mm.
- Temperaturas promedio Verano 85°C.
- Temperaturas promedio Invierno 50°C.
- Dimensiones de los tubos: 58 / 1800 mm.

### Soluciones

- Tanques de 100/165/200/240/300 litros.

### Opcionales

- Bomba eléctrica para impulsar agua.
- Calentador eléctrico.

Litros	Cant. Tubos	Dimen. Instalado
100	10	0,82 / 1,5/1,7 m
165	15	1,21 / 1,5/1,7 m
200	20	1,57 / 1,5/1,7 m
240	24	1,87 / 1,5/1,7 m
300	30	2,32/ 1,5/1,7 m



*Nota.* EMPRESA TERMOSOL.

#### Anexo 4: Determinación de puntos del sistema de refrigeración por absorción.

Punto 2: Solución acuosa de agua y bromuro de litio a 30°C. Con el valor de la temperatura del refrigerante a 10°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 1,23 a 5,1 kPa, se asume un incremento de la temperatura de 3°C para la solución , con un valor de  $T_3 = 33^\circ\text{C}$  y además manteniéndose constante la concentración  $X_3 = X_2 = 0,50$  , se obtiene un valor de  $h_3 = -160$  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 5,1 kPa, se obtiene un valor de  $X_4 = 0,68$  y un valor de  $h_4 = -60$  kJ/kg.

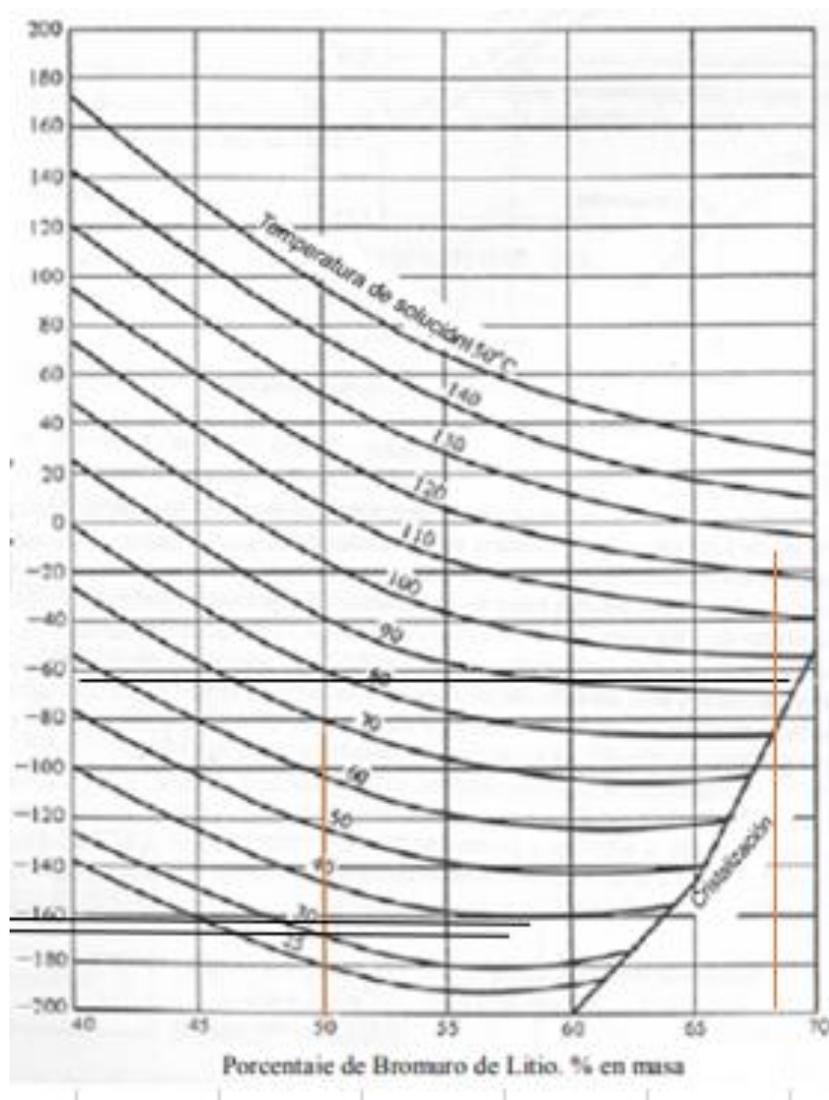
Punto 5: La solución acuosa sale de la válvula de expansión a un valor de  $X_4 = X_5 = 0,65$  y además el valor de  $h_4 = h_5 = -60$  kJ/kg. a una temperatura de 95 °C.

Punto 6: El agua en estado de vapor sobrecalentado separada en el generador a una presión de 5,1 kPa y una temperatura de 95 °C , tiene un valor de  $h_6 = 2\ 678,6$  kJ/kg.

Punto 7: A la salida del condensador el agua refrigerante está en estado de líquido comprimido a 5,1 kPa y 33,25 °C, con un valor de  $h_7 = 139,2$  kJ/kg.

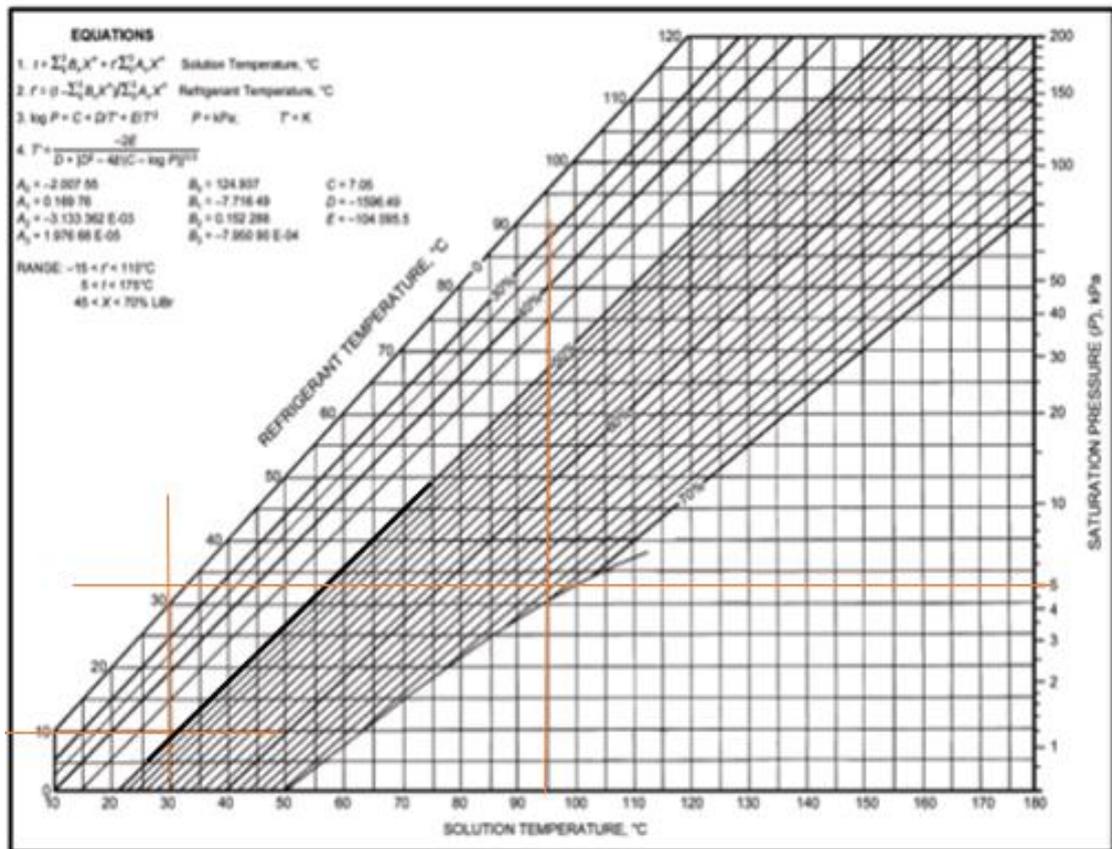
Punto 8: A la salida de la válvula de expansión el agua refrigerante tiene un valor de  $h_7 = h_8 = 139,2$  kJ/kg. y una presión de 1,23 kPa.

Anexo 5: Diagrama entalpia y porcentaje de bromuro de litio



Nota. Información obtenida de tesis Arias y Espinoza (2013)

Anexo 6: Diagrama de solución acuosa de bromuro de litio.



Nota. Información obtenida de tesis Arias y Espinoza (2013)

## Anexo 7: Especificaciones de Grupos Electrogenos a Gas G3512 CAT

### Cat® G3512 con respuesta rápida Grupos electrogenos de gas



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

Perforación; mm (pulg)	170 (6,7)
Camara; mm (in)	190 (7,5)
Cilindrada; L (pulg <sup>3</sup> )	52 (3.173)
Relación de compresión	9,7
Aspiración	Con turbocompresor
Sistema de combustible	Válvula electrónica de control de combustible
Tipo de regulador	ADEM™ A4

De respaldo y continuo 48 Hz 480V (500kVA) con ventilador	Rendimiento de emisiones
1.000 (1.250)	NOx seleccionable (0,5 a 2,0 g/bhp-h)
750 (938)	NOx seleccionable (0,5 a 2,0 g/bhp-h)

#### Características estándar

##### Motor de gas natural Cat®

- 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
- Sistema de combustión de cámara abierta simple para garantizar la fiabilidad y flexibilidad del combustible
- Diseño de doce cilindros para optimizar el rendimiento transitorio

##### Paquete de grupo eléctrico

- Acepta 100 % de carga de bloque en un solo paso
- Diseñado para cumplir con los requisitos de arranque y carga de NFPA 110, Tipo 10
- Cumple con los criterios de aceptación de carga y estado estable ISO 8528-5 G3
- La fiabilidad se verifica mediante pruebas de vibraciones torsionales, consumo de combustible, consumo de aceite, rendimiento transitorio y de resistencia

##### Generadores

- La capacidad superior de arranque del motor reduce la necesidad de generadores de gran tamaño
- Diseñado para ofrecer las mismas características de rendimiento y salida que los motores Cat

##### Sistema de enfriamiento

- Sistemas de enfriamiento disponibles para operar en temperaturas ambiente de hasta 43 °C (110 °F)
- Paquete probado para garantizar la refrigeración adecuada del grupo eléctrico completo

##### 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

- Garantía de 24 meses o 1.000 horas para clasificaciones de respaldo
- Garantía de 12 meses o de horas limitadas para las clasificaciones continuas
- Cobertura de servicio extendida disponible para proporcionar opciones de cobertura extendida

##### Respaldo al producto en todo el mundo

- Los distribuidores Cat tienen más de 1.800 sucursales de distribuidores que operan en 200 países
- Su distribuidor Cat local ofrece un amplio respaldo posventa que incluye acuerdos de reparación y mantenimiento

##### Financiamiento

- Caterpillar ofrece una amplia gama de productos financieros que le ayudarán a triunfar gracias a un servicio de excelencia en temas de finanzas
- Las opciones incluyen préstamos, arrendamiento financiero, arrendamiento operativo, capital de trabajo y línea de crédito renovable
- Comuníquese con su distribuidor Cat local para conocer la disponibilidad en su región

**Rendimiento del paquete**

Rendimiento	De respaldo y continuo			
	60 Hz			
Frecuencia	60 Hz			
Clasificaci3n de potencia del grupo electr6geno con factor de potencia de 0,8 – ekW (kVA)	750 (938)		1.000 (1.250)	
Emisiones – NOx g/bhp-h	2			
N6mero de rendimiento	EM2091-01		EM1622-02	
<b>Consumo de combustible</b>				
Carga del 100 % con ventilador – MJ/ekW-h (BTU/ekW-h)	10,57	(10.025)	10,05	(9.526)
Carga del 75 % con ventilador – MJ/ekW-h (BTU/ekW-h)	11,39	(10.799)	10,52	(9.971)
Carga del 50 % con ventilador – MJ/ekW-h (BTU/ekW-h)	12,96	(12.287)	11,57	(10.970)
<b>Sistema de enfriamiento</b>				
Restricci3n del flujo de aire del radiador – kPa (pulgadas de agua)	0,12	(0,5)	0,12	(0,5)
Flujo de aire del radiador – m <sup>3</sup> /min (cfm) a 0,5" H <sub>2</sub> O	1.830	(64.625)	1.830	(64.625)
Capacidad de temperatura ambiente del radiador a 500 m (1.000') – °C (°F)	45	(113)	45	(113)
Temperatura del circuito auxiliar (admis3n m6xima) – °C (°F)	54	(130)	54	(130)
Temperatura del agua de las camisas (salida m6xima) – °C (°F)	99	(210)	99	(210)
<b>Aire de admisi3n</b>				
R6gimen de flujo de admisi3n de aire de combusti3n – Nm <sup>3</sup> /bkW-h (pie <sup>3</sup> /min)	4,38	(2.339)	4,18	(2.941)
<b>Capacidad de altitud</b>				
Capacidad ambiente a 25 °C (77 °F), sobre el nivel del mar – m (pies)	2.910	(9.547)	2.025	(6.644)
<b>Sistema de escape</b>				
Temperatura de escape (salida del motor) – °C (°F)	513	(956)	508	(947)
Flujo de gases de escape – Nm <sup>3</sup> /bkW-h (pie <sup>3</sup> /min)	4,67	(8.657)	4,45	(8.320)
Flujo de masa de gases de escape – kg/bkW-h (lb/h)	5,87	(10.757)	5,60	(13.527)
<b>Rechazo de calor</b>				
Rechazo de calor al circuito de agua de las camisas (JW+AC1 + OC) – kW (BTU/min)	486	(27.927)	600	(34.126)
Rechazo de calor al agua de las camisas – kW (BTU/min)	365	(27.668)	422	(24.010)
Rechazo de calor al escape (LHV a 120 °C/248 °F) – kW (BTU/min)	602	(34.230)	748	(42.513)
Rechazo de calor a la temperatura del circuito auxiliar – kW (BTU/min)	65	(3.671)	93	(5.272)
Rechazo de calor a la atm3sfera del motor y el generador – kW (BTU/min)	126	(7.185)	151	(8.605)

Nota. Informacion obtenida de

[https://s7d2.scene7.com/is/content/Caterpillar/CM20220519-f13f3-b11d8?\\_ga=2.89519576.293098980.1700940267-](https://s7d2.scene7.com/is/content/Caterpillar/CM20220519-f13f3-b11d8?_ga=2.89519576.293098980.1700940267-1975568527.1699824534&_gl=1*nnocg1*_ga*MTk3NTU2ODUyNy4xNjk5ODI0NTM0*_ga_RJ3G1WBXL7*MTcwMDk0NTE4Ny43LjEuMTcwMDk0NTI2Ny40Ni4wLjA)

[1975568527.1699824534&\\_gl=1\\*nnocg1\\*\\_ga\\*MTk3NTU2ODUyNy4xNjk5ODI0NTM0\\*\\_ga\\_RJ3G1WBXL7\\*MTcwMDk0NTE4Ny43LjEuMTcwMDk0NTI2Ny40Ni4wLjA](https://s7d2.scene7.com/is/content/Caterpillar/CM20220519-f13f3-b11d8?_ga=2.89519576.293098980.1700940267-1975568527.1699824534&_gl=1*nnocg1*_ga*MTk3NTU2ODUyNy4xNjk5ODI0NTM0*_ga_RJ3G1WBXL7*MTcwMDk0NTE4Ny43LjEuMTcwMDk0NTI2Ny40Ni4wLjA)

[1975568527.1699824534&\\_gl=1\\*nnocg1\\*\\_ga\\*MTk3NTU2ODUyNy4xNjk5ODI0NTM0\\*\\_ga\\_RJ3G1WBXL7\\*MTcwMDk0NTE4Ny43LjEuMTcwMDk0NTI2Ny40Ni4wLjA](https://s7d2.scene7.com/is/content/Caterpillar/CM20220519-f13f3-b11d8?_ga=2.89519576.293098980.1700940267-1975568527.1699824534&_gl=1*nnocg1*_ga*MTk3NTU2ODUyNy4xNjk5ODI0NTM0*_ga_RJ3G1WBXL7*MTcwMDk0NTE4Ny43LjEuMTcwMDk0NTI2Ny40Ni4wLjA)

Anexo 8: Especificaciones de G3512H continuo.

## Cat® G3512H

### Grupos electrógenos de gas continuo de 60 Hz



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> )	59 (3.574)
Aspiración	Con turbocompresor
Sistema de combustible	Válvula electrónica de control de combustible
Tipo de regulador	ADEM™ A4 W/IM

	Tipo de combustible	eKW (kVA)	Relación de compresión	Velocidad del motor: rpm
Tolerante a la humedad/combustible con bombas	Gas natural	1.475 (1.844)	11,1	1.500
Tolerante a la humedad/combustible sin bombas	Gas natural	1.490 (1.862)	11,1	1.500
Alta eficiencia con bombas	Gas natural	1.475 (1.844)	12,1	1.500
Alta eficiencia sin bombas	Gas natural	1.490 (1.862)	12,1	1.500

#### Características estándar

##### Motor Cat®

- Robusto diseño de bloque de alta velocidad para una vida útil prolongada y menores costos de posesión y operación
- Eficiencia y densidad de alta potencia

##### Paquete de grupo electrógeno

- Eficiencia eléctrica de primer nivel
- Costos más bajos de mantenimiento y reparo gracias a un bajo consumo de aceite, intervalos de servicio extendidos y menos tiempo de inactividad
- Capacidad de rendimiento transitorio ISO 8528- 5 Clase G1 con pasos

##### 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

- Garantía de 12 meses o de horas ilimitadas para las clasificaciones continuas
- Protección de servicio extendida disponible para proporcionar opciones de cobertura extendida

**Rendimiento del paquete de alta eficiencia de 60 Hz – Sin bombas**

Rendimiento	Continuo	
	60 Hz	60 Hz
Frecuencia	60 Hz	60 Hz
Clasificación de potencia del grupo electrógeno con factor de potencia de 0,8 – ekW (kVA)	1.490 (1.862)	1.490 (1.862)
Velocidad del motor – rpm	1.500	1.500
Relación de compresión	12,1	12,1
Nivel de emisiones de NOx – mg/Nm <sup>3</sup> (g/bhp-h) NOx	255 (0,50)	516 (1,00)
Número de rendimiento	EM2800-00	EM2798-00
<b>Consumo de combustible</b>		
Carga del 100 % con ventilador – MJ/ekW-h (BTU/ekW-h)	8,38 (7.947)	8,15 (7.729)
Carga del 75 % con ventilador – MJ/ekW-h (BTU/ekW-h)	8,47 (8.030)	8,27 (7.843)
Carga del 50 % con ventilador – MJ/ekW-h (BTU/ekW-h)	9,04 (8.573)	8,81 (8.351)
<b>Sistema de enfriamiento</b>		
Temperatura del circuito auxiliar (admisión máxima) – °C (°F)	51 (124)	51 (124)
Temperatura del agua de las camisas (salida máxima) – °C (°F)	99 (210)	99 (210)
<b>Aire de admisión</b>		
Régimen de flujo de admisión de aire de combustión (0 °C, 101,3 kPa)/ (77 °F, 14,7 lb/pulg <sup>2</sup> ) – Nm <sup>3</sup> /bkW-h (pie <sup>3</sup> /min)	4,02 (4.032)	3,90 (3.904)
<b>Capacidad de altitud</b>		
Capacidad ambiente a 25 °C (77 °F), sobre el nivel del mar – m (pies)	1.400 (4.593)	1.500 (4.921)
<b>Sistema de escape</b>		
Temperatura de escape (salida del motor) – °C (°F)	393 (740)	390 (735)
Flujo de gases de escape (0 °C, 101,3 kPa)/(77 °F, 14,7 lb/pulg <sup>2</sup> ) – Nm <sup>3</sup> /bkW-h (pie <sup>3</sup> /min)	4,26 (9.678)	4,13 (9.330)
Flujo de masa de gases de escape – kg/bkW-h (lb/h)	5,38 (18.497)	5,21 (17.910)
<b>Rechazo de calor</b>		
Rechazo de calor al agua de las camisas: kW (BTU/min)	347 (19.716)	335 (19.064)
Rechazo de calor al escape (LHV a 120 °C/248 °F) – kW (BTU/min)	707 (40.220)	677 (38.511)
Rechazo de calor al circuito auxiliar – kW (BTU/min)	162 (9.208)	146 (8.308)
Rechazo de calor a la atmósfera del motor y el generador – kW (BTU/min)	106 (5.844)	103 (5.698)
Rechazo de calor al circuito de agua de las camisas (JW+OC+AC1) – kW (BTU/min)	809 (45.982)	785 (44.667)

Nota. Informacion obtenida de

[https://s7d2.scene7.com/is/content/Caterpillar/CM20220519-4cc5b-3fe8e?\\_ga=2.178567655.293098980.1700940267-1975568527.1699824534&\\_gl=1\\*nae3oi\\*\\_ga\\*MTk3NTU2ODUyNy4xNjk5ODI0NTM0\\*\\_ga\\_RJ3G1WBXL7\\*MTcwMDk0MDI2Ny42LjEuMTcwMDk0MDQ0NC41MC4wLjA](https://s7d2.scene7.com/is/content/Caterpillar/CM20220519-4cc5b-3fe8e?_ga=2.178567655.293098980.1700940267-1975568527.1699824534&_gl=1*nae3oi*_ga*MTk3NTU2ODUyNy4xNjk5ODI0NTM0*_ga_RJ3G1WBXL7*MTcwMDk0MDI2Ny42LjEuMTcwMDk0MDQ0NC41MC4wLjA)

1975568527.1699824534&\_gl=1\*nae3oi\*\_ga\*MTk3NTU2ODUyNy4xNjk5ODI0NTM0\*\_ga\_RJ3G1WBXL7\*MTcwMDk0MDI2Ny42LjEuMTcwMDk0MDQ0NC41MC4wLjA.

## Anexo 9: Especificaciones de G3412C Gas Generator Sets CAT

### Cat® G3412C Gas Generator Sets



Image shown may not reflect actual configuration

Bore – mm (in)	137 (5.4)
Stroke – mm (in)	152 (6.0)
Displacement – L (in³)	27.0 (1649)
Compression Ratio	11.4:1
Aspiration	TA
Fuel System	LPG IMPCO with Altronics Air Fuel Ratio Control – NOx Feedback
Governor Type	ADEM™ A4

Standby 60 Hz kW (kVA)	Emissions Performance
500 (625)	U.S. EPA Stationary Emergency Compliant Capable

#### Standard Features

##### Cat® Engine

- Robust high speed block design provides prolonged life and lower owning and operating costs
- Designed for maximum performance on low pressure gaseous fuel supply
- Simple open chamber combustion system for reliability and fuel flexibility

##### Generator Set Package

- Accepts 100% block load in one step
- Conforms to ISO 8528-5 G2 load acceptance criteria
- Reliability verified through torsional vibration, fuel consumption, oil consumption, transient performance, and endurance testing

##### Generators

- Superior motor starting capability minimizes need for oversizing generator
- Designed to match performance and output characteristics of Cat engines

##### Cooling System

- Cooling systems available to operate in ambient

##### EMCP 4 Control Panels

- User-friendly interface and navigation
- Scalable system to meet a wide range of installation requirements
- Expansion modules and site specific programming for specific customer requirements

##### Warranty

- 24 months/1000-hour warranty for standby ratings
- 12 months/unlimited hour warranty for continuous ratings
- Extended service protection is available to provide extended coverage options

##### Worldwide Product Support

- Cat dealers have over 1,800 dealer branch stores operating in 200 countries
- Your local Cat dealer provides extensive post-sale support, including maintenance and repair agreements

##### Financing

- Caterpillar offers an array of financial products to help you succeed through financial service

**G3412C Gas Generator Sets  
Electric Power**



**Package Performance**

Performance	Standby	
Frequency	60 Hz	
Genset power rating @ 0.8 power factor – kW (kVA)	500	(625)
Emissions	U.S. EPA Stationary Emergency Compliant Capable	
Performance number	EM1888-02	
<b>Fuel Consumption</b>		
100% load with fan – MJ/ekW-hr (Btu/ekW-hr)	11.28	(10694)
75% load with fan – MJ/ekW-hr (Btu/ekW-hr)	11.90	(11285)
50% load with fan – MJ/ekW-hr (Btu/ekW-hr)	13.11	(12434)
<b>Cooling System</b>		
Radiator air flow restriction – kPa (in. water)	.12	(.5)
Radiator air flow – m <sup>3</sup> /min (cfm)	1432	(50570)
Radiator ambient capability @ 304 m (1000 ft) – °C (°F)	37	(98)
Auxiliary circuit temperature (maximum inlet) – °C (°F)	54	(130)
Jacket water temperature (maximum outlet) – °C (°F)	99	(210)
<b>Inlet Air</b>		
Combustion air inlet flow rate (0°C, 101.3 kPa)(77°F, 14.7 psia) – m <sup>3</sup> /min (cfm)	44.57	(1575)
<b>Altitude Capability</b>		
At 25°C (77°F) ambient, above sea level – m (ft)	610	(2000)
<b>Exhaust System</b>		
Exhaust temperature – engine outlet – °C (°F)	409	(769)
Air flow (0°C, 101.3 kPa)(77°F, 14.7 psia) – Nm <sup>3</sup> /bkW-hr (ft <sup>3</sup> /min)	4.38	(1575)
Exhaust Gas Mass Flow – kg/bkW-hr (lb/hr)	5.85	(7259)
<b>Heat Rejection</b>		
Heat rejection to jacket water – kW (Btu/min)	367	(20861)
Heat rejection to exhaust (LHV to 120°C/248°F) – kW (Btu/min)	430	(24444)
Heat rejection to auxiliary circuit – kW (Btu/min)	115	(6554)
Heat rejection to atmosphere from engine and generator – kW (Btu/min)	92	(5255)

Nota. Informacion obtenida de

<https://s7d2.scene7.com/is/content/Caterpillar/CM20170821-74557->

[17112?\\_ga=2.181269732.293098980.1700940267-](https://s7d2.scene7.com/is/content/Caterpillar/CM20170821-74557-17112?_ga=2.181269732.293098980.1700940267-)

[1975568527.1699824534&\\_gl=1\\*112q2kx\\*\\_ga\\*MTk3NTU2ODUyNy4xNjk5ODI0NTM0\\*\\_ga\\_RJ3G1WBXL7\\*MTcwMDk0NTE4Ny43LjEuMTcwMDk0NjI0NC41MS4wLjA](https://s7d2.scene7.com/is/content/Caterpillar/CM20170821-74557-17112?_ga=2.181269732.293098980.1700940267-1975568527.1699824534&_gl=1*112q2kx*_ga*MTk3NTU2ODUyNy4xNjk5ODI0NTM0*_ga_RJ3G1WBXL7*MTcwMDk0NTE4Ny43LjEuMTcwMDk0NjI0NC41MS4wLjA)