



UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS
VERITATE SOLA NOBIS IMPONETUR VIRILISTOGA. 1948

Facultad de Ingeniería Mecánica.

Centro de Estudio de Energías y Tecnologías

Ambientales CEETA

Trabajo de Diploma

Título: "Selección de alternativas de suministro energético para el Hospital Clínico Quirúrgico "Arnaldo Milián Castro" mediante la aplicación del software RETScreen".

Autor: Wilder Gil Ramos.

Tutor: Ing. Alfredo Leyva Céspedes.

Curso: 2013-2014.



Agradecimientos:

A mis padres, abuelos, tíos, a mi hermana y a todas los familiares y amistades más allegadas.

A mi tutor Alfredo, por su apoyo en el desarrollo de este trabajo.

A Pedro y a todo el personal por su atención en el trabajo realizado en el Hospital “Arnaldo Milián Castro”.

A todos los profesores por permitirme adquirir los conocimientos necesarios para el futuro.

A los que de una forma u otra han colaborado en mi desarrollo profesional como ingeniero mecánico.

A TODOS MUCHAS GRACIAS.

Resumen:

El presente trabajo se realizó en el Hospital Provincial Clínico Quirúrgico Universitario "Arnaldo Milián Castro" de Santa Clara, con el objetivo de seleccionar una alternativa de suministro energético basada en un sistema de cogeneración o trigeneración para dicha instalación empleando el software RETScreen y así modelar y estudiar la satisfacción de las demandas de energía donde se emplean tres variantes, turbina de gas con combustible diesel y gas natural, una turbina de vapor y un motor de pistones, conformando un manual de uso del programa utilizado de las tres variantes propuestas. Para ello fue necesario caracterizar los portadores energéticos consumidos en el año 2013 donde la energía eléctrica fue el portador más consumido, seguido del combustible fuel oil, el GPL y el diesel planta.

Abstract.

This work was performed at the Provincial "Arnaldo Milián Castro" Clinical Surgical Hospital Universitario de Santa Clara, with the aim of selecting an alternative energy supply based on cogeneration or trigeneration system for the facility using the RETScreen software model and so study meeting the energy demands where three variants, gas turbine and diesel fuel natural gas, a steam turbine and a piston engine, forming a manual of the program used for the three proposed variants are used. It was necessary to characterize the energy carriers consumed in 2013 where electricity was the most used carrier, followed by fuel oil, GPL and diesel plant.

Índice

Introducción.....	1
<i>Capítulo I: Marco teórico.</i>	4
1.1 - Introducción	4
1.2 – <i>Cogeneración:</i>	5
1.3 - <i>Tipos de sistemas de cogeneración.</i>	7
1.4 - <i>Concepto de trigeneración.</i>	9
1.5. <i>Refrigeración por absorción.</i>	10
1.6- <i>Programas utilizados para la simulación de sistemas de Poligeneración.</i>	10
1.7- <i>Eficiencia energética y cogeneración en hospitales.</i>	11
1.8- <i>Breve caracterización del Hospital “Arnaldo Milián Castro”.</i>	12
Capítulo II: Caracterización de los portadores energético del Hospital “Arnaldo Milián Castro”	13
2.1 - Introducción	13
2.2 Estructura de los consumos de los portadores:	13
2.2.1 Energía eléctrica.....	13
2.2.2 Sistema de Generación Transporte y Uso del Vapor (GTUV)	14
2.2.3 Estructura de los consumos de Fuel Oil.	15
2.2.4 Estructura de los consumos de gas licuado (GPL).	16
2.3 - Indicadores de consumo de los principales portadoresenergéticos de la Instalación en los años 2011, 2012 y 2013.	18
Capítulo III: Análisis de resultados	21
3.2 – Alternativas de cogeneración:.....	21
<i>Alternativa # 1: Turbina de vapor:</i>	22
<i>Alternativa # 2: Motor de pistones</i>	23
<i>Alternativa # 3 Turbina de Gas:</i>	24
3.3 – <i>Resultados obtenidos del software:</i>	26

<i>Alternativa # 1: Turbina de vapor</i>	26
<i>Alternativa # 2: Motor de combustión interna</i>	28
<i>Alternativa # 3: Turbina de Gas</i>	30
Recomendaciones.....	38
Anexos.	39

Introducción.

La energía posibilita y facilita toda la actividad humana. Las diferentes fuentes y sistemas de producción y uso de la energía utilizadas por el hombre han marcado las grandes etapas en el desarrollo de la sociedad humana. Hoy se hace imprescindible reducir la dependencia de nuestra economía del petróleo y los combustibles fósiles. Para lograr esto es muy importante aprender a transformarla energía, de forma económica y respetuosa con el ambiente, pero más importante aún, es aprender a usarla eficientemente y para esto es necesario desarrollar tecnologías y sistemas de vida y trabajo que ahorren energía para lograr un auténtico desarrollo, y así que se pueda denominar sostenible.

Un parámetro fundamental en la viabilidad económica de una planta de cogeneración es el combustible a utilizar, ya que su precio puede tener un peso importante en el costo de generación. La aplicación del gas natural como combustible, surge ante la necesidad de reemplazar los hidrocarburos líquidos por motivos económicos y medioambientales y por la necesidad de no depender directamente de los derivados del petróleo.

El punto de partida, para cualquier proyecto de cogeneración, es la realización de un estudio de prefactibilidad lo suficientemente riguroso, con la finalidad de determinar qué tipo de instalación es la que mejor se adapta al centro consumidor, y si es o no rentable dicha instalación.

El primer punto a desarrollar es la definición de los datos básicos de partida a tener en cuenta en el diseño de la instalación de cogeneración. Esto debe incluir el análisis de la demanda energética (Térmica y eléctrica) y su estratificación, así como los costos correspondientes a los sistemas actuales.

Una vez determinada la situación actual del centro consumidor, hay que tomar una decisión sobre qué tipo de instalación puede resultar más adecuada en cada caso: turbinas de vapor, turbinas de gas, motores alternativos o combinados de ellas, teniendo en cuenta la estructura del consumo térmico-eléctrico, así como otros factores tales como horas de funcionamiento, combustibles disponibles, etc.

En Cuba las instalaciones hospitalarias constituyen un importante consumidor de portadores energéticos, principalmente energía eléctrica, utilizada para todo un conjunto de servicios principales (equipamiento quirúrgico, rayos x, tomografía, etc.) y auxiliares (iluminación, refrigeración, ventilación y acondicionamiento de aire, etc.). un hospital consume, además, grandes cantidades de combustible en la generación de vapor, como portador energético de varios servicios importantes: cocina, esterilización, lavandería, etc. en el mundo se impone desde hace varios años la tendencia a racionalizar el consume energético en los sectores básicos como la industria y la construcción, pero también en el sector terciario de la economía, compuesto principalmente de los procesos no productivos como la educación, la salud, los servicios, etc. la eficiencia como técnica para mejorar el rendimiento de cualquier instalación está encaminada a optimizar el consumos de energía primaria y aumentar el rendimiento de los procesos de transformación de la misma.

En pos de mejorar la eficiencia en el sector de la salud, se están implementando sistemas de suministro energéticos basados en la cogeneración y la trigeneración ya que con estos se logra una notable disminución del consumo de portadores energéticos primarios, ya que aprovechan más las capacidades energéticas de los combustibles en comparación con los sistemas energéticos convencionales.

EL presente estudio se realizó en el Hospital Clínico Quirúrgico “Arnaldo Milián Castro” de la ciudad de Santa Clara (HAMC). Esta instalación de salud brinda gran cantidad de servicios, por lo que demanda un suministro continuo de energía eléctrica de calor y de frío tanto en refrigeración como en climatización, lo que lo convierte en un centro complejo y alto consumidor de diferentes portadores energéticos, puesto que trabaja todo el año y se mantiene en activo servicio la mayor parte del día.

Por ello, en el presente trabajo se realiza un estudio de la viabilidad técnica y económica acerca de la posibilidad de instalar en el hospital un sistema de suministro energético basado en la poligeneración, mediante la utilización del software RETScreen, de manera que se mejore el actual sistema de suministro energético de la instalación por uno más moderno y eficiente. Dada esta situación se traza la siguiente hipótesis.

Hipótesis de investigación.

Es posible con la utilización del software RETScreen determinar una alternativa de suministro energético basada en la poligeneración para aplicar en el Hospital “Arnaldo Milián Castro” de forma que sea más eficiente y garantice satisfacer las demandas energéticas.

Objetivo general.

Seleccionar mediante la utilización del software RETScreen una variante de cogeneración que satisfaga los requerimientos de energía para el Hospital Clínico Quirúrgico “Arnaldo Milián Castro”.

Objetivos específicos.

- Establecer las referencias teóricas sobre la temática de cogeneración y trigeneración.
- Caracterizar los portadores energéticos consumidos en la instalación.
- Evaluar las diferentes alternativas de suministro energético mediante el empleo del software RETScreen.
- Realizar un manual de uso del software RETScreen con el ejemplo de cogeneración.

Capítulo I: Marco teórico.

1.1 - Introducción

El uso racional de la energía es un concepto que más que dejar de utilizarla, busca hacer un uso eficiente sin que implique el derroche de la misma. Esto lleva a maximizar el aprovechamiento de los recursos naturales. Recursos naturales que en la actualidad comienzan a escasear en todo el mundo. En la mayoría de los países se vienen implementando políticas de uso racional de la energía eléctrica ya que la población y el consumo crecen a gran velocidad generando la saturación de las líneas de distribución y los riesgos de desabastecimiento eléctrico.

El fomento de la cogeneración de alta eficiencia es una prioridad para muchos países del mundo, por ejemplo en la Unión Europea se plantea como principal objetivo el incremento de la eficiencia energética y mejorar la seguridad del abastecimiento mediante la creación de un marco para el fomento y desarrollo de la cogeneración. La cogeneración es una técnica que es utilizada en diversos sectores, principalmente en el sector industrial y que está ampliamente consolidada. En el caso de la trigeneración, la técnica es relativamente un poco más nueva y se está implantado como una forma de suministro energético en edificios comerciales, oficinas, hospitales y hoteles, fundamentalmente. A pesar de ello; la cogeneración y la trigeneración siguen siendo alternativas atractivas cuando se quiere cubrir eficientemente la creciente demanda energética de determinada instalación.

La principal estrategia en la actualidad para hacer un uso racional de la energía consiste en cubrir la demanda con una canasta energética en el cual, las energías renovables, la cogeneración y la trigeneración de alta eficiencia tengan un importante peso. Todo esto con el fin de colaborar con la mitigación del cambio climático y reducir la dependencia de combustibles fósiles. Desde ya esto varía con cada país, sus políticas y su compromiso ambiental. Mientras algunos países de la Unión Europea invierten fuertemente en estas tecnologías otros lo hacen de manera moderada y otros de forma simbólica.[1, 2]

En este capítulo se realiza una revisión bibliográfica con el objetivo de establecer los referentes teóricos acerca del tema de la cogeneración y la trigeneración.

1.2 – Cogeneración:

La cogeneración se puede definir como la generación simultánea de dos formas de energía útil a partir de una única fuente de energía primaria. Es producir electricidad o energía mecánica de manera que se utilice la mayor parte de la energía contenida en un combustible, en lugar de solo una pequeña fracción de la misma. En un proceso de cogeneración, el calor se presenta en forma de vapor de agua a alta presión o en forma de agua caliente. Por ejemplo, se puede utilizar el vapor caliente que sale de una turbina de producción de energía eléctrica, para suministrar energía para otros usos. Hasta hace poco lo usual era dejar que el vapor se enfriara, pero con esta técnica, con el calor que le queda al vapor se calienta agua para distintos usos.

En la figura 1.1 a continuación, se muestra el esquema de un sistema de suministro energético convencional, donde la energía eléctrica proviene del Sistema Electroenergético Nacional y la energía térmica necesaria es generada en una caldera de vapor, y la figura 1.2 un sistema basado en la cogeneración.

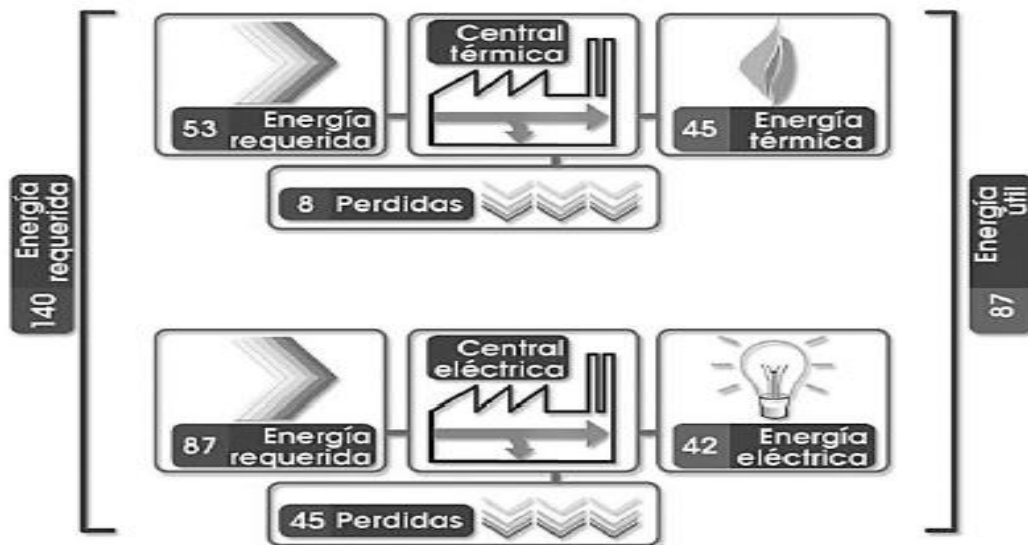


Figura 1.1: Sistema convencional de producción de energía eléctrica y térmica.

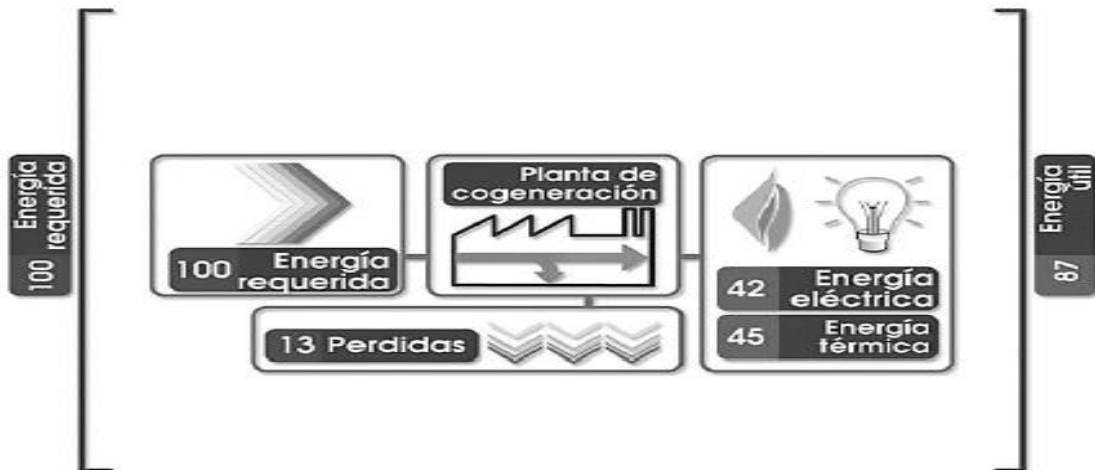


Figura 1.2: Sistema típico de cogeneración.

Para el sistema convencional se toma el rendimiento de la central eléctrica y el transporte de la electricidad del 48 % y el rendimiento de la caldera del 85 %, siendo el rendimiento total de 62 %. En la cogeneración, se muestra un rendimiento de generación de electricidad del 42 % y un rendimiento térmico del 45 % por lo que la eficiencia global del sistema es del 87 %, mayor que el sistema convencional en un 25 %. El sistema de cogeneración consume 100 unidades de combustible para producir 87 unidades de energía útil, mientras que el sistema convencional es capaz de generar la misma cantidad de energía útil consumiendo 40 unidades más del combustible utilizado.[3, 4]

La cogeneración en Cuba

En Cuba, la cogeneración se ha utilizado desde sus inicios en la producción azucarera, a fines del siglo XIX y principios del XX se produjo la sustitución masiva del suministro energético a partir del bagazo y la tracción animal o esclava, por instalaciones de cogeneración a partir de la propia combustión del bagazo, pero generando potencia mecánica para la molienda y luego energía eléctrica, y utilizando el escape de las máquinas de vapor para satisfacer las necesidades de la cocción del jugo. En algunas otras esferas industriales se han utilizado instalaciones similares de cogeneración. Sin embargo, no existen precedentes de instalaciones de cogeneración en el sector no productivo. Todas las instalaciones de generación han sido concebidas para satisfacer las necesidades propias, sin excedentes, pues el sistema tarifario existente ha estado encaminado a desestimular la autogeneración y

cogeneración en beneficio del monopolio de producción y distribución de energía eléctrica.[3]

Sectores de la economía nacional, como la salud y el turismo obtendrían considerables beneficios de la aplicación de la generación simultánea de calor y energía eléctrica. En ambas instituciones se requiere, para diversos procesos industriales, tanto de electricidad como de calor, que son obtenidos de forma separada, incrementando los costos de los servicios, en el caso de los hoteles estos ven escapar así una buena forma de abaratar sus ofertas en consecuencia con el aumento de la competitividad frente a otras instalaciones del sector. En tanto los centros hospitalarios, son grandes consumidores de combustible que con la aplicación de sistemas de suministro energéticos basados en la cogeneración de alta eficiencia, lograrían disminuir los costos por consumos de los distintos portadores energéticos, trayendo consigo un ahorro a la economía del país.[3, 5]

Se puede apreciar que el país está dedicando esfuerzos para estimular el uso de la cogeneración, con el objetivo de aumentar la eficiencia energética de los procesos y brindar servicios energéticos de calidad con un menor costo. Estos esfuerzos se materializan en la política industrial y energética de los “Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución” del país, aprobado el 18 de abril de 2011, con motivo de celebración del VI Congreso del Partido Comunista de Cuba. En estos lineamientos; específicamente el número 246, el cual cito textualmente: ...“Fomentar la cogeneración y la trigeneración en todas las actividades con posibilidades. En particular, se elevará la generación de electricidad por la agroindustria azucarera a partir del aprovechamiento del bagazo y residuos agrícolas cañeros y forestales, creándose condiciones para cogenerar en etapa inactiva, tanto en refinación como destilación”...[6]

1.3 - Tipos de sistemas de cogeneración

Entre las plantas de cogeneración se pueden encontrar:

Plantas con motores alternativos: Estos son motores convencionales, con un generador eléctrico acoplado, que utilizan gas natural, gasóleo o fuel - oil como combustible. Las potencias desarrolladas oscilan entre 30 kW y 10 MW.

Plantas con turbinas a gas: La turbina de gas se ha desarrollado en los últimos tiempos gracias a su aplicación a la industria aeronáutica, éstas pueden generar de 500 kW - 20 MW, y si bien sus rendimientos de conversión son inferiores a la de los motores alternativos, ofrecen la gran ventaja de la facilidad de recuperación del calor, que se encuentra concentrado en su práctica totalidad en sus gases de escape, que al estar a una temperatura de unos 500 °C son idóneas para producir vapor en un generador de recuperación.

Microturbinas: Las mismas son turbinas a gas pero de pequeñas potencias. El rango de producción de electricidad de estos equipos es bajo, entre 25 kW - 300 kW.

Turbina de vapor: La misma utiliza el vapor producido en una caldera para generar electricidad mediante un generador acoplado en línea con el rotor. El vapor de escape puede ser aprovechado en otros procesos.

Celdas de combustible: En principio, una celda de combustible opera como una batería. Genera electricidad combinando hidrógeno y oxígeno electroquímicamente sin ninguna combustión. A diferencia de las baterías, una celda de combustible no se agota ni requiere recarga. Producirá energía en forma de electricidad y calor mientras se le provea de combustible. El único subproducto que se genera es agua 100% pura[7, 8].

1.3.1- Ventajas y desventajas de estos sistemas:

Turbina de vapor.

Tabla 1.1 Principales ventajas y desventajas de las turbinas de vapor.

Ventajas	Inconvenientes
<p>Rendimiento global muy alto (90%)</p> <p>Extremadamente segura</p> <p>Posibilidad de emplear todo tipo de combustibles.</p> <p>Larga vida de servicio (25años).</p> <p>Amplia gama de potencias (0.5 a 100MW o más).</p> <p>Gases con elevado contenido de oxígeno.</p>	<p>Baja relación electricidad /calor (15%)</p> <p>Marcha lenta</p> <p>No permite alcanzar altas potencias eléctricas.</p>

Turbina de gas:

Tabla 1.2 Principales ventajas y desventajas de las turbinas de gas.

Ventajas	Inconvenientes
Amplia gama de aplicaciones. Muy fiable Elevada temperatura de la energía térmica. Amplia gama de capacidades (0.5 a 265 MW). Gases con alto contenido de oxígeno. Costos de inversión relativamente bajo. Corto tiempo de arranque. Muy compactas.	Limitación en los combustibles. Tiempo de vida realmente corto. Baja eficiencia en carga parcial.

Motor alternativo:

Tabla 1.3 Principales ventajas y desventajas de los motores alternativos

Ventajas	Inconvenientes
Alta relación electricidad /calor. Alto rendimiento eléctrico. Bajo costo. Tiempo de vida largo. Capacidad de adaptación y variaciones de la demanda.	Alto costo de mantenimiento Energía térmica muy distribuida y a baja temperatura.

1.4 - Concepto de trigeneración.

Procedimiento similar a la cogeneración en el que produce frío, además de energía eléctrica y calor, típicos de la cogeneración. El frío normalmente es obtenido por el método de absorción ya que, aunque su rendimiento es bastante menor, utiliza calor residual de la producción de electricidad con la producción de frío; es mucho más económica y ecológica.

El calor residual que se obtiene es la suma del producido por la generación de electricidad, más el sustraído del proceso de refrigeración. Con lo que se consigue más cantidad de calor aunque a menor temperatura, con la desventaja de que las posibles aplicaciones de este calor pueden verse reducidas[9].

1.5. Refrigeración por absorción.

El sistema de refrigeración por absorción y el sistema de refrigeración por compresión, se aprovechan ciertas sustancias que absorben calor al cambiar de estado líquido a gaseoso. En el caso de los ciclos de absorción se basan físicamente en la capacidad que tienen algunas sustancias, como el bromuro de litio, de absorber otra sustancia, tales como el agua, en fase de vapor. En otro ciclo, la sustancia absorbente (disolvente) es el agua y la absorbida (solute) es el amoníaco [10, 11].

1.6- Programas utilizados para la simulación de sistemas de Poligeneración.

Los diversos estudios energéticos dan al traste con la creación de muchos *software* que responden a criterios diferentes y es por eso que el mercado abarca cada una de ellas dando lugar a tantos programas como criterios existan. En la siguiente tabla se muestran algunos de los principales *software* y sus aplicaciones fundamentales.

Tabla 1.4: Aplicación de los programas de simulación para el cálculo de carga térmica y análisis de energía, así como sus aplicaciones en el análisis de los edificios[12].

Programas	Aplicación
DesignBuilder	Simulación de energía en edificios, visualización, emisiones de CO ₂ , protección solar, ventilación natural, iluminación natural, estudios de confort, simulación de aires acondicionados, Open GL interfaz con Energy Plus, archivos meteorológicos, dimensionamiento de equipos de calefacción y enfriamiento.
DOE-2	Eficiencia energética, diseño, modificación, investigación, edificios residenciales y comerciales.
ECOTEC	Diseño ambiental, análisis ambiental, diseño conceptual, control solar, sombra, diseño y análisis térmico, cargas de calefacción y enfriamiento, iluminación natural y artificial, análisis del ciclo de vida, costeo del ciclo de vida, horarios de programación, análisis acústico estadístico y geométrico.
Energy-10	Diseño conceptual, edificios residenciales, edificios comerciales pequeños.

Energy Plus	Simulación de energía, cálculo de carga, rendimiento del edificio, rendimiento energético, balance de calor, balance de masas.
ESP-r	Simulación de energía, desempeño ambiental, edificios comerciales, edificios residenciales, visualización, edificios y sistemas complejos.
TRNSYS	Simulación de energía, cálculo de carga, rendimiento del edificio, investigación, eficiencia energética, energías renovables.

1.7- Eficiencia energética y cogeneración en hospitales.

El procedimiento corriente de trabajo de la mayoría de los hospitales requiere un consumo de energía considerable para el calentamiento del agua, los controles de la temperatura y la humedad del aire en interiores, la iluminación, la ventilación y numerosos procesos clínicos con considerables emisiones de gases de efecto invernadero asociadas. Los hospitales pueden introducir muchas medidas destinadas a mejorar la eficiencia energética, al tiempo que satisfacen las necesidades de energía de estos importantes usos finales.

Utilizando una tecnología que permita combinar la generación de energía destinada a calefacción y electricidad, por ejemplo, los centros hospitalarios pueden generar electricidad y captar el calor residual del proceso de generación como energía térmica.

Esto puede duplicar la eficiencia energética al eliminar las pérdidas asociadas al suministro de electricidad de la red eléctrica.

La cogeneración como medida de uso racional de la energía produce un ahorro de energía primaria muy importante. Debido al aprovechamiento del calor residual, los sistemas de cogeneración presentan rendimientos globales del orden del 85%. Este ahorro energético se incrementa notablemente si se utilizan energías residuales. Si tenemos en cuenta que para producir una unidad eléctrica por medios convencionales se necesitan 3 unidades térmicas, mientras que en cogeneración se necesitan 1,5 unidades, la cantidad total de agentes contaminantes emitidos se verá disminuida en un 50%.

Una vez que se ha planteado la posibilidad de instalar una planta de cogeneración y el inversor se identifica con alguna de las soluciones propuestas, es necesario

desarrollar, a grandes rasgos, en qué consiste el proyecto de cogeneración. Varios son los proyectos que se han dedicado a la implementación de una planta de cogeneración con el uso del programa RETScreen en hospitales como el de Edel Martín Pérez donde utiliza el software y propone tres variantes de cogeneración y el proyecto de Carlos Martínez Zayas que propone tres variantes de cogeneración pero utilizando una versión menos actual del software. Por lo que se decidió en este proyecto utilizar el RETScreen con tres propuestas de cogeneración y conformar un manual de uso donde se detallan bien la selección de todos los datos que se introducen en el programa para que todo aquel que quiera aprender a utilizarlo le sea más fácil introducirse en la material.

1.8- Breve caracterización del Hospital "Arnaldo Milián Castro".

El Hospital Provincial Universitario "Arnaldo Milián Castro" de Villa Clara con perfil clínico quirúrgico es una institución del Sistema Nacional de Salud, el mismo inicia sus actividades el 8 de octubre de 1990 y es inaugurado el 3 de diciembre de 1993. Dicho hospital se encarga de brindar asistencia médica, científica y tecnológica altamente calificada, no solo a la provincia de Villa Clara sino también al territorio central, puesto que está equipado con tecnologías de punta y cuenta con un grupo importante de especialistas reconocidos a nivel de país. En él se brindan servicios hospitalarios en las tres áreas básicas: cuerpo de guardia, hospitalización y consulta externa; tiene a su cargo una población de 536 mil 578 habitantes. Para ello cuenta con 18 salones de operaciones y una dotación de 598 camas.[13]

Capítulo II: Caracterización de los portadores energético del Hospital “Arnaldo Milián Castro”.

2.1 - Introducción

En este capítulo se procederá a identificar los principales portadores energéticos y consumos de estos en el Hospital “Arnaldo Milián Castro” (HAMC), para obtener los resultados fue necesario hacer una recopilación de todo los datos en el año 2013 en lo que respecta al consumo de energía (energía eléctrica y combustible no automotor), ya que en este trabajo solo se tendrán en cuenta los consumos de portadores directos a la atención de salud.

2.2 Estructura de los consumos de los portadores:

2.2.1 Energía eléctrica.

Estructura general del hospital

El centro cuenta con un solo servicio eléctrico que es el hospital propiamente dicho.

Régimen de operación.

El régimen de trabajo del centro es continuo, aunque las actividades principales se realizan de lunes a viernes entre las ocho de la mañana y las cuatro de la tarde, los fines de semana se deja el personal y equipamiento mínimo para atender cualquier emergencia de los pacientes hospitalizados.

Breve descripción de las fuentes de suministro de energía eléctrica.

El centro se alimenta a través de dos transformadores de 1000 kVA cada uno con una relación de transformación 33,0 / 0,48 KV, los dos trabajan permanentemente y de forma individual, uno alimentando las cargas de primera emergencia y el otro el resto de las cargas, en las condiciones actuales y según las mediciones realizadas por un trabajador de la empresa eléctrica que examina el hospital mensualmente, los transformadores están trabajando al 70% y al 20% respectivamente[14].

El centro se encuentra respaldado desde otro circuito de 33 kV (alimentador) y con tres grupos de emergencia, dos de ellos marca Volvo de 500 kVA cada uno con posibilidad de sincronizarse y otro de 813 kVA marca SDMO los cuales se ponen en marcha en caso de que exista alguna avería, bajo voltaje o interrupción del servicio eléctrico que suministra el SEN y estos abastecen todo el hospital.[15]

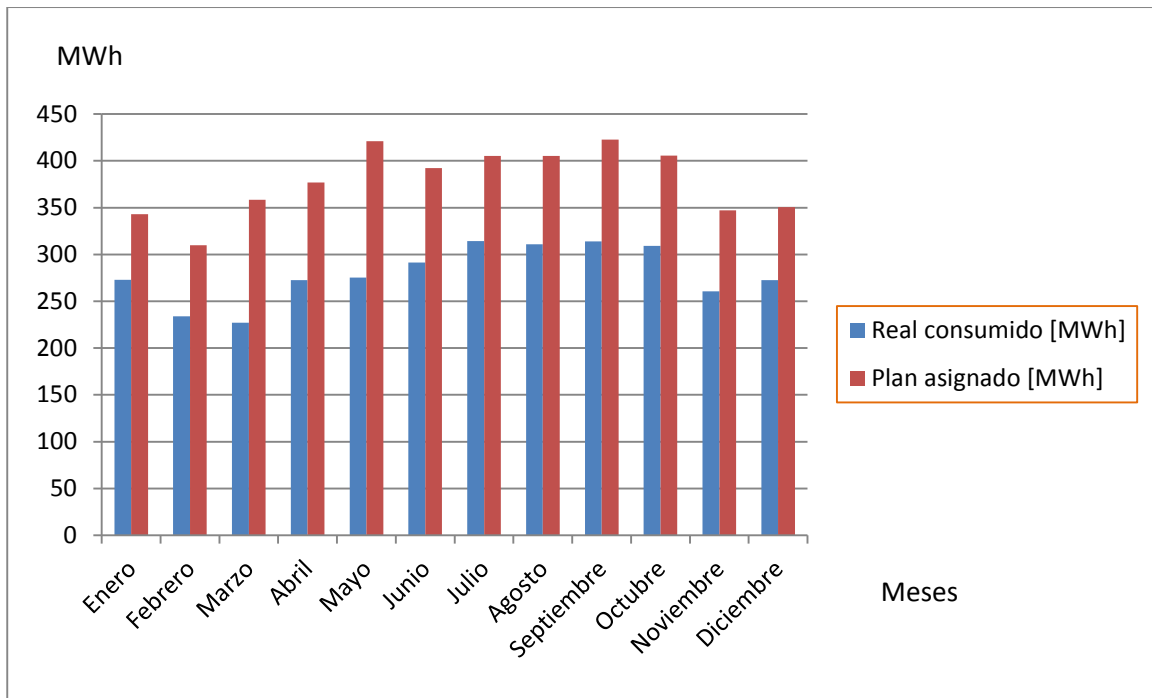


Gráfico (2.1): Estructura de consumo y plan asignado de energía eléctrica para el año 2013[16, 17]

Como se puede observar en el gráfico anterior para el año en análisis en el hospital hay un aumento del consumo de energía en los meses de verano entre mayo y octubre debido a las altas temperaturas.

2.2.2 Sistema de Generación Transporte y Uso del Vapor (GTUV)

➤ Generación de vapor:

El fuel oil se utiliza en la producción de vapor, para ello la instalación cuenta con tres generadores de vapor pirotubulares dos de igual modelo, fabricados por ALASTOR de 4 t/h, aunque los generadores pueden operar a una presión máxima de 13 kg/cm², están regulados para entregar 8 kg/cm² de presión[18, 19]

- ✓ Las Calderas de Vapor No.1 y 3, de modelo CMS4000 ubicadas en la Sala de Calderas del Hospital “Arnaldo Milián Castro”, perteneciente al MINSAP en Villa Clara.(No.1 – ROTA , No.3 -- FUNCIONA)[20]
- ✓ La Caldera de Vapor No.2, modelo PKM-4T ubicada en la Sala de Calderas del Hospital “Arnaldo Milián Castro”, perteneciente al MINSAP en Villa Clara.(FUNCIONA)[21]

El vapor producido por dichas calderas es utilizado en:

Cocina:

- En estos momentos existen en la cocina para la cocción de los alimentos; ocho tachos que de ellos funcionan cuatro, y en algunos casos trabajando a presiones por debajo de la máxima regulada que es de 2,5 kg/cm².

Esterilizado:

- El vapor también es usado en la central de esterilización, la cual tiene tres autoclaves (existe uno roto), dos son de vapor y trabajan a una presión de 2,4 kg/cm², el otro restante es eléctrico con potencia de 14 kW y 220 V, que trabaja a una presión de 1,7 kg/cm².
- Actualmente el área donde se encontraba esta sala esta en reparación por lo que los equipos que operaban fueron movidos a distintos lugares dentro del hospital.

Lavandería:

La lavandería del hospital es una de las principales área donde se demanda vapor, este es usado para el lavado y secado de la ropa; ver (anexo 2).

2.2.3 Estructura de los consumos de Fuel Oil.

El consumo promedio anual de fuel oil en el año 2013 fue de 321 629 L.

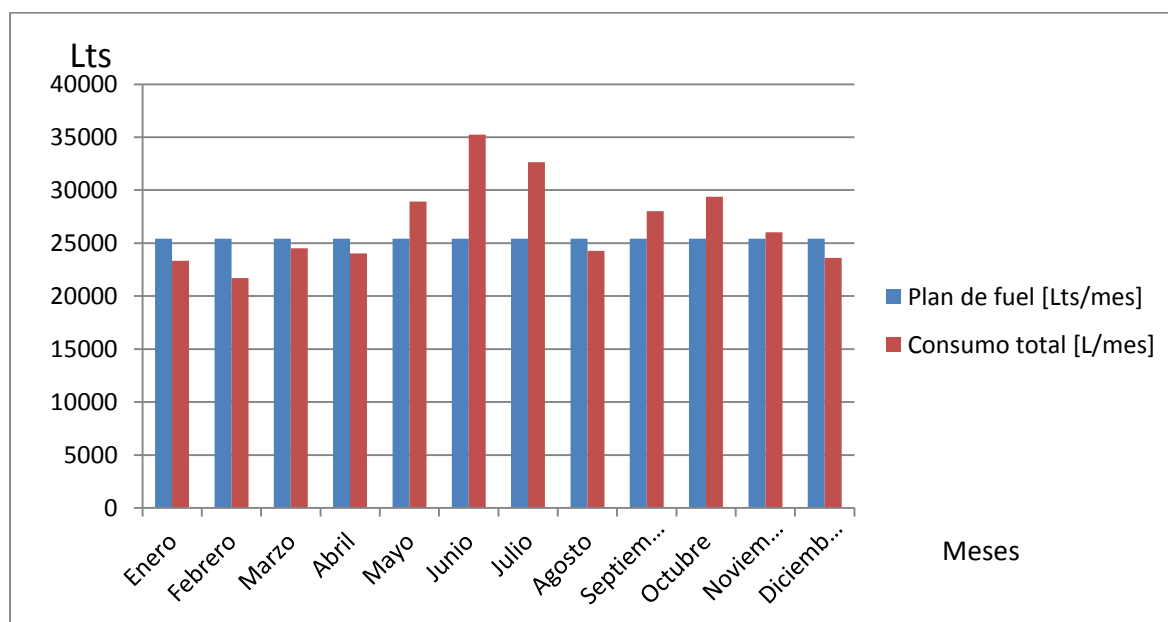


Gráfico (2.2) - Consumo vs real de combustible para el año 2013[22]

En algunos de los meses en el 2013 se produjo un mayor consumo de combustible debido a que el servicio de vapor se prestó más horas unos meses con respecto a otros.

2.2.4 Estructura de los consumos de gas licuado (GPL).

El GPL granel que se maneja en la instalación es consumido en labores esterilización, específicamente en 39 cocinas, dos sartenes basculantes y 31 mecheros para la esterilización de instrumentos. En el gráfico 2.3 y 2.4 que sigue a continuación, se representan los consumos de GPL para el año 2013.[23]

Total de Consumo GPL kg año 2013

El consumo de gas licuado que se muestra en esta grafica se consume desde el tanque principal.

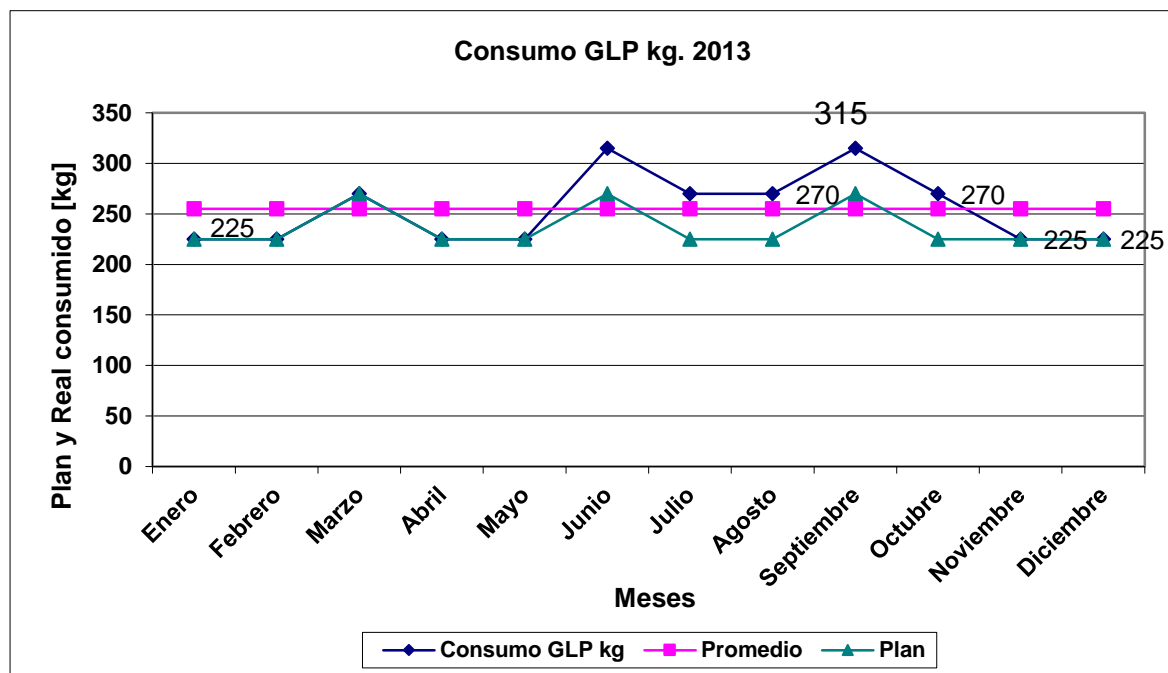


Gráfico (2.3): Consumo del gas licuado por meses para el año 2013[24].

Consumos de gas licuado que viene en balitas en el 2013.

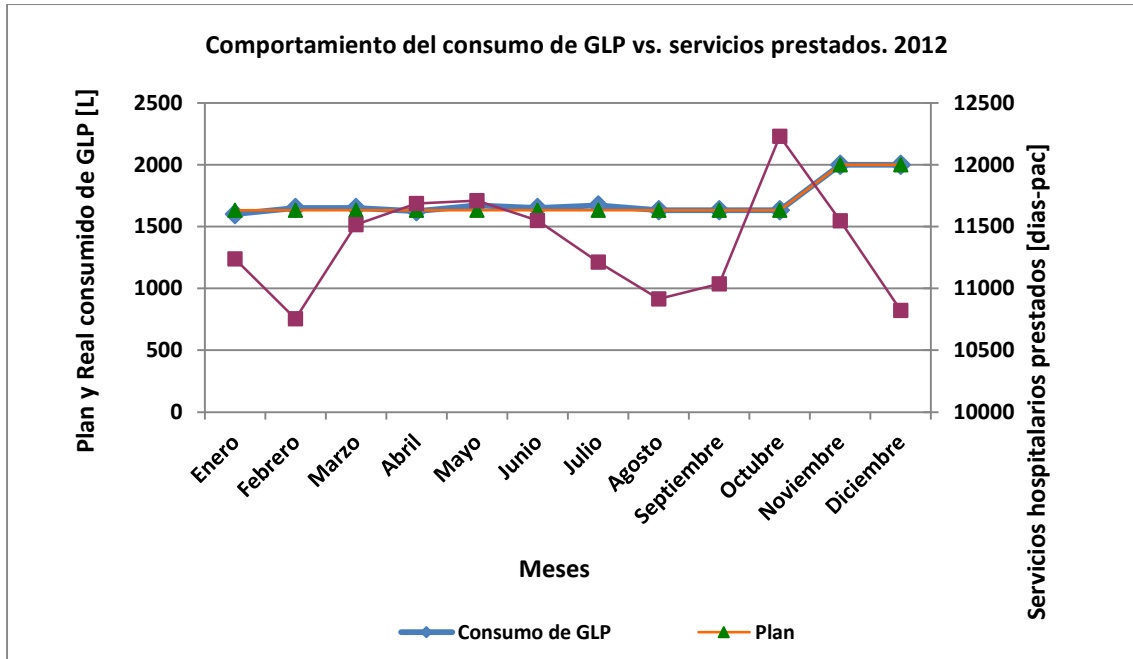


Grafico (2.4): Consumo del gas licuado (Bala) por meses para el año 2013[25].

2.2.5 Estructura de los consumos de diesel planta

El consumo promedio anual fue de 9709 L para el 2013.

Consumo [Lts]	Energía generada [kWh]	Índice de consumo [L/kWh]
9709,25	31692,36	0,31

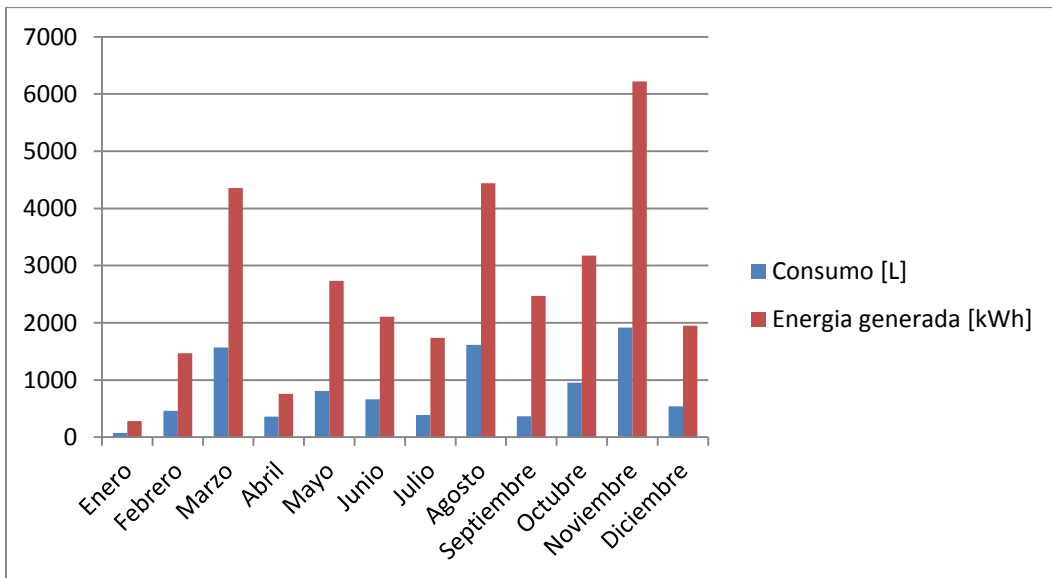


Gráfico (2.5): Consumo de diesel (L) de los tres grupos electrogenos contra la energía generada (kWh) para el año 2013[15]

2.3 - Indicadores de consumo de los principales portadores energéticos de la Instalación en los años 2011, 2012 y 2013.

En el hospital se identificaron los principales portadores energéticos del período:

- Energía eléctrica
- Fuel-oil
- GLP
- Diesel

En la tabla 2.1 se muestran un resumen del consumo de estos portadores para el año 2011, 2012 y 2013 su equivalencia a toneladas de combustible convencional aplicando los factores de conversión que aparecen en el anexo 6.

Para el análisis económico se calcula sobre la base de la relación del peso cubano convertible (CUC) para con el peso cubano (CUP) un tasa de conversión de 1:1, establecido por el MEP.

Tabla 2.1: Portadores energéticos utilizados en el hospital durante los años 2011, 2012 y 2013.

Principales portadores energéticos utilizados en el hospital	2011	2012	2013
Energía eléctrica	Valor	Valor	Valor
kWh	4 251 679,4	3 720 673	3 355 000
tcc	1 556,1	1 361,77	1 227,93
Costo (CUC)	395 560,62	346 161,93	312 139,81
Fuel oil			
tcc	332,8	282,84	321,629
Costo (CUC)	233 425,92	198 383,98	225590,8
GLP			
tcc	12,3	10,74	12,9
Costo (CUC)	15 336,7	13 391,71	16 085,01
Diesel planta			
tcc	2,8	4,37	5,31
Costo (CUC)	3 157,28	4 927,61	5 987,55
TOTALES			
tcc	1 904	1 605,72	1567,78
Gastos monetarios en energía Costo (CUC)	647 480,69	562 665,23	559 803,4

En la siguiente tabla se muestran los valores del consumo de energía eléctrica, su valor en toneladas de combustible convencional y su costo monetario en los años 2011, 2012 y 2013.

Tabla 2.2: Consumo de energía y costo 2011, 2012 y 2013.

Años	Energía Eléctrica (MWh/año)	tcc/año	CUC/año
2011	4 251	1 556.1	606 700
2012	3 720	1 361.77	589 310
2013	3 355	1 227.93	852 841

Nota: Para obtener estos resultados se tuvo en cuenta el factor de conversión de **0,366** toneladas de combustible convencional (tcc) por MWh de electricidad al año, a un precio de **634,69 USD/tcc** (ver anexo 7).

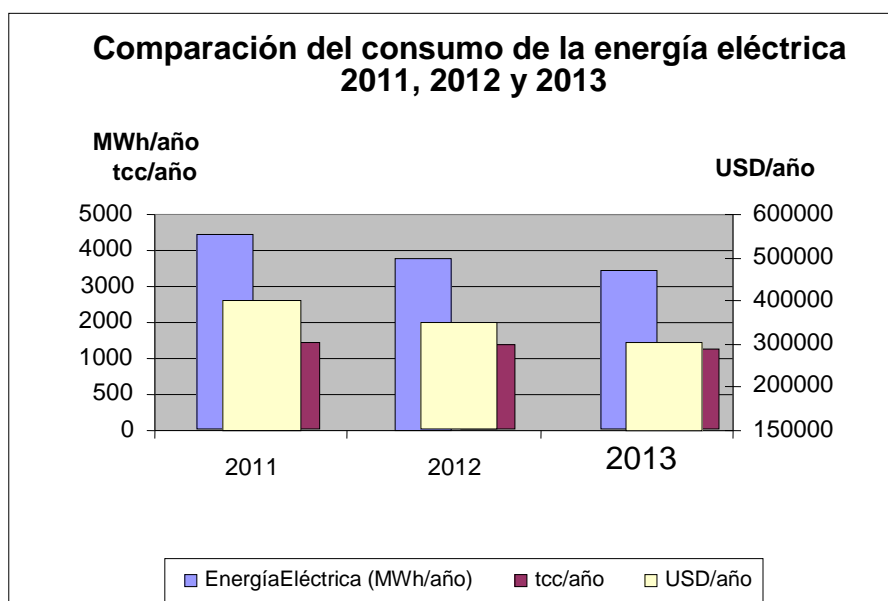


Gráfico 2.6: Comparación del comportamiento del consumo energético años 2011, 2012 y 2013.

2.4 Simultaneidad de las demandas actuales de electricidad calor y frío:

Para diseñar una nueva planta de suministro energético es necesario construir las curvas de las demandas de electricidad, calor y frío para las distintas horas del día. Estas permiten conocer los puntos máximos, mínimos y de media demanda, así como los momentos del día en los que aparecen. Las curvas que se muestran a continuación fueron construidas según las necesidades de electricidad, calor y frío de cada local, las horas del día en las que se necesitan.

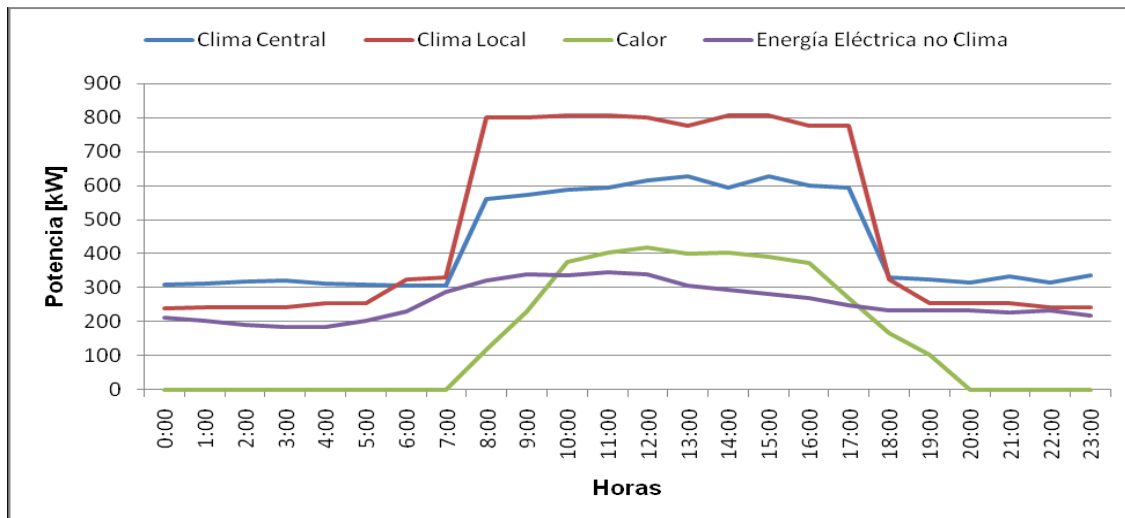


Gráfico 2.7: Simultaneidad de las demandas de electricidad, calor y frío (día típico de verano).

La construcción de la curva de demanda de electricidad se realizó mediante las lecturas de un analizador de redes que estuvo conectado durante el mes de abril de 2013, como parte de un estudio realizado por la Empresa Eléctrica. La potencia eléctrica representada en el gráfico 2.7 corresponde a la necesidad de electricidad para otros usos, es decir no incluye la potencia eléctrica necesaria para climatización centralizada ni local. Por su parte las demandas de frío están divididas en climatización centralizada y no centralizadas (local), ambas curvas se obtuvieron mediante el cálculo de las cargas térmicas de los locales climatizados del hospital y las horas necesarias de frío para cada local, sin tener en cuenta restricciones para lograr ahorro de electricidad a costa de privar a los usuarios del servicio. De forma similar se obtuvo la curva de demanda de calor, la cual incluye la producción de vapor para la cocina, la lavandería y la central de esterilización. Estas curvas de demandas se obtuvieron a partir del estudio de las necesidades de un día típico de verano, siendo este el clima predominante en nuestro país, aunque se sabe que en determinados meses del año, semanas o determinadas horas del día estas curvas no coincidan con la realidad, sin dudas constituyen una buena aproximación al comportamiento regular de dichas demandas, esto es necesario tenerlo en cuenta a la hora de diseñar una planta de suministro energético basada en la cogeneración o la trigeneración, para ello se recomienda no renunciar completamente a los sistemas convencionales de suministro energético existentes, puesto que ante un máximo o un mínimo fuera de los parámetros de diseño o de plena eficiencia de la planta, estas tecnologías convencionales puedan asumir dichas cargas.

Capítulo III: Análisis de resultados

3.1- Introducción.

El software RETScreen permite a los ingenieros, arquitectos y responsables económicos modelar y analizar todos los proyectos de energía limpia. Los que toman decisiones pueden llevar a cabo un análisis estándar de cinco pasos, incluyendo el análisis energético, análisis de costos, análisis de emisiones, análisis financiero y análisis de sensibilidad y riesgo.

Los modelos de proyecto de RETScreen abarcan todas las tecnologías e incluyen tanto las fuentes de energía limpia tradicionales como las no tradicionales, además de las fuentes y tecnologías de energía convencionales.

Los modelos de proyectos incluyen: eficiencia energética (desde grandes instalaciones industriales hasta viviendas individuales), calefacción y enfriamiento (ej. biomasa, bombas de calor y calefacción solar de aire/agua), energía (incluyendo energías renovables como solar, eólica, hidráulica, geotérmica, etc. y las tecnologías convencionales como las turbinas de vapor/gas y los motores reciprocantes) y calor y energía combinados (o cogeneración).

Dentro de las herramientas de análisis se han integrado bases de datos de productos, proyectos, hidrológicos y climatológicos (esta última incluye 4700 estaciones terrestres y datos de satélites de la NASA, que cubren toda la superficie del planeta), así como enlaces a mapas de recursos energéticos de todo el mundo.[26]

3.2 – Alternativas de cogeneración:

A continuación se presentan los tres escenarios analizados con el software RETScreen, para determinar la alternativa más viable a instalar. Es necesario aclarar que la planta de refrigeración por absorción que se toma para estas alternativas asumirá cargas que actualmente se satisfacen con sistemas eléctricos debido a que el sistema de distribución y manejo del clima central presenta un elevado grado de deterioro.[27-33]

La explicación de cómo se seleccionan cada uno de los parámetros para las diferentes alternativas se describe detalladamente en el manual. (Apéndice A)[34]

Alternativa # 1: Turbina de vapor:

Esta alternativa consiste en la generación local de vapor y energía eléctrica con calderas de presión moderadamente alta, turbogenerador a base de turbina de vapor de contrapresión y utilización del vapor de escape para usos diversos de temperatura moderada, principalmente la de obtención de frío para climatización centralizada en una instalación de refrigeración por absorción. El combustible utilizado es petróleo residual (fuel oil).[35-44]

Sistema eléctrico de potencia de carga base

<i>Tecnología</i>	<i>Turbina de vapor</i>
<i>Disponibilidad</i>	<i>95.0 %</i>
<i>Método de selección de combustible</i>	<i>Un sólo combustible</i>
<i>Tipo de combustible</i>	<i>Petróleo Diesel (#6) - L</i>
<i>Precio del combustible</i>	<i>0.582 \$/L</i>

Turbina de vapor

<i>Flujo de vapor</i>	<i>4 000 kg/h</i>	
<i>Presión de operación</i>	<i>1200 kPa</i>	
<i>Temperatura de saturación</i>	<i>188°C</i>	
<i>Temperatura de sobrecalentado</i>	<i>300°C</i>	
<i>Entalpia</i>	<i>3 049kJ/kg</i>	
<i>Entropía</i>	<i>7.04kJ/kg/K</i>	
<i>Puerto de extracción</i>	<i>NO</i>	
<i>Escape de turbina presión de vapor</i>	<i>500 kPa</i>	
<i>Temperatura</i>	<i>152°C</i>	
<i>Calidad de mezcla</i>	<i>1.04</i>	
<i>Entalpia</i>	<i>2 841kJ/kg</i>	
<i>Producción teórica de vapor</i>	<i>17.30 kJ/kg/K</i>	
<i>Eficiencia de la turbina de vapor</i>	<i>70.0%</i>	
<i>Producción real de vapor</i>	<i>24.72 kg/kWh</i>	
<i>Resumen</i>		
<i>Capacidad de generación eléctrica</i>	<i>162KW</i>	<i>65.5%</i>
<i>Potencia mínima</i>	<i>40%</i>	
<i>Fabricante</i>	<i>Turbo Steam</i>	
<i>Modelo y capacidad</i>	<i>BP50 Series</i>	

<i>Electricidad entregada a la carga</i>	<i>1 354MWh</i>	<i>71%</i>
<i>Electricidad exportada de la red</i>		
<i>Eficiencia estacional</i>	<i>75%</i>	
<i>Temperatura de retorno</i>	<i>80 °C</i>	
<i>Combustible requerido</i>	<i>14.5GJ/h</i>	
<i>Capacidad de calentamiento</i>	<i>2 681,2 kW</i>	<i>316.5%</i>

Sistema de enfriamiento de caso propuesto

Sistema de enfriamiento de carga base		
Tecnología	Absorción	
Fuente de combustible	Sistema de calefacción	
Capacidad	kW	527,0 122,6%
Coefficiente de rendimiento - estacional		5,50
Fabricante	Mitsubishi Electric	
Modelo	MDU-15A	
Enfriamiento entregado	MWh	2.957 100,0%
Sistema de enfriamiento de carga punta		
Tecnología	Compresor	
Fuente de combustible	Sistema eléctrico de potencia	
Capacidad sugerida	kW	0,0
Capacidad	kW	457,0 106,3%
Coefficiente de rendimiento - estacional		85,00
Fabricante	Trane	
Modelo	CVHE-130	
Enfriamiento entregado	MWh	0 0,0%

Alternativa # 2: Motor de pistones

Esta alternativa consiste en la operación de los grupos electrógenos diesel existentes en la instalación, con la incorporación de calderas recuperadoras del calor del sistema de enfriamiento y de los gases de escape para generación de vapor principalmente para alimentar una planta centralizada de refrigeración por absorción. El combustible utilizado es petróleo diesel.[35-44]

Sistema eléctrico de potencia de carga base

<i>Tecnología</i>	<i>Motor a pistones</i>
<i>Disponibilidad</i>	<i>95.0 %</i>
<i>Método de selección de combustible</i>	<i>Un sólo combustible</i>
<i>Tipo de combustible</i>	<i>Petróleo Diesel (#2) - L</i>
<i>Precio del combustible</i>	<i>0.582 \$/L</i>

Motor a pistones

Capacidad de generación eléctrica	272 kW	110.2%
Potencia mínima	25.0 %	
Electricidad entregada a la carga	1 832MWh	95.5%
Electricidad exportada a la red	443 MWh	
Fabricante	Scania	
Modelo	DC12-272	
Rendimiento calórico	12 000 kJ/kWh	
Eficiencia de recuperación de calor	78.0 %	
Combustible requerido	3.3 GJ/h	
Capacidad de calentamiento	495 kW	58.4%

Alternativa # 3 Turbina de Gas:

Esquema con turbina de gas y caldera recuperadora de calor de los gases de escape para generación de vapor para los usos comentados en las alternativas anteriores, fundamentalmente para alimentar una planta de refrigeración por absorción. Se analiza una variante para combustible diesel y otra para gas.[35-44]

Caso diésel

Sistema eléctrico de potencia de carga base

Tecnología	Turbina a Gas
Disponibilidad	95.0%
Método de selección de combustible	Un sólo combustible
Tipo de combustible	Petróleo Diesel (#2) - L
Precio del combustible	0.4 \$/L

Turbina a Gas

Capacidad de generación eléctrica	250 kW	102.7%
Potencia mínima	40.0%	
Electricidad entregada a la carga	1 804 MWh	95.5%
Electricidad exportada a la red	285 MWh	
Fabricante	Ingersoll-Rand	
Modelo	MT250	
Rendimiento calórico	25000 kJ/kWh	
Eficiencia de recuperación de calor	75%	
Combustible requerido	6.3 GJ/h	

<i>Capacidad de calentamiento</i>	<i>1 114.6 kW</i>	<i>131.6%</i>
-----------------------------------	-------------------	---------------

Caso Gas

Sistema eléctrico de potencia de carga base

<i>Tecnología</i>	<i>Turbina a Gas</i>	
<i>Disponibilidad</i>	<i>95.0%</i>	
<i>Método de selección de combustible</i>	<i>Un sólo combustible</i>	
<i>Tipo de combustible</i>	<i>Gas natural - m³</i>	
<i>Precio del combustible</i>	<i>0.075 \$/m³</i>	
Turbina a Gas		
<i>Capacidad de generación eléctrica</i>	<i>250kW</i>	<i>102.7%</i>
<i>Potencia mínima</i>	<i>40.0%</i>	
<i>Electricidad entregada a la carga</i>	<i>1 804 MWh</i>	<i>95.5%</i>
<i>Electricidad exportada a la red</i>	<i>287 MWh</i>	
<i>Fabricante</i>	<i>Ingresoll-Rand</i>	
<i>Modelo</i>	<i>MT250</i>	
<i>Rendimiento calórico</i>	<i>27000 kJ/kWh</i>	
<i>Eficiencia de recuperación de calor</i>	<i>60%</i>	
<i>Combustible requerido</i>	<i>6.8 GJ/h</i>	
<i>Capacidad de calentamiento</i>	<i>975 kW</i>	<i>115.1%</i>

3.3 – Resultados obtenidos del software:

A continuación se muestran los resultados obtenidos de los cálculos realizados por el Software RETScreen.

Alternativa # 1: Turbina de vapor.

Electricidad.

Sistema eléctrico de potencia de carga base

<i>Tecnología</i>	<i>Turbina de vapor</i>	
<i>Estrategias de operación</i>	<i>Potencia eléctrica a plena capacidad - Sin extracción</i>	
<i>Capacidad</i>	162 kW	63.5%
<i>Electricidad entregada a la carga</i>	1 354 MWh	70.6%
<i>Electricidad exportada a la red</i>	0 MWh	

Sistema eléctrico de potencia de carga punta

<i>Tecnología</i>	<i>Electricidad de la red</i>	
<i>Capacidad sugerida</i>	246.9 kW	
<i>Capacidad</i>	250 kW	101.3%
<i>Electricidad entregada a la carga</i>	565 MWh	29.4%

Calentamiento.

Sistema de calentamiento de carga base

<i>Tecnología</i>	<i>Turbina de vapor</i>	
<i>Capacidad</i>	2681.4 kW	316.5%
<i>Calentamiento entregado</i>	5599MWh	95.5%

Sistema de calentamiento de carga punta

<i>Tecnología</i>	<i>Caldero</i>	
<i>Tipo de combustible</i>	<i>Petróleo Residual (#6) - L</i>	
<i>Precio del combustible</i>	0.580 \$/L	
<i>Capacidad sugerida</i>	847.2 kW	
<i>Capacidad</i>	888 kW	104.8%
<i>Calentamiento entregado</i>	263.8MWh	4.5%
<i>Fabricante</i>	<i>Viessmann</i>	
<i>Modelo</i>	VSB-89	1 unidad

Eficiencia estacional 65%

Enfriamiento.

Sistema de enfriamiento de carga base

<i>Tecnología</i>	<i>Absorción</i>	
<i>Fuente de combustible</i>	<i>Sistema de calefacción</i>	
<i>Capacidad</i>	527 kW	122.6%
<i>Enfriamiento entregado</i>	2 957 MWh	100.0%

Sistema de enfriamiento de carga punta

<i>Tecnología</i>	<i>Compresor</i>	
<i>Fuente de combustible</i>	<i>Sistema eléctrico de potencia</i>	
<i>Capacidad</i>	457 kW	106.3%
<i>Enfriamiento entregado</i>	0 MWh	0.0%

Resumen del sistema del caso propuesto	Tipo de combustible	Unidad - Consumo combustible	Consumo de combustible	Capacidad (kW)	Energía Entregada (MWh)
Electricidad					
Carga de base	Petróleo Residual (#6)	L	3,022,695	251	1,832
Carga de punta	Electricidad	MWh	86	250	86
Electricidad exportada a la red					265
			Total	501	2,183
Calentamiento					
Carga de base	Calor recuperado			2,611	5,599
Carga de punta	Petróleo Residual (#6)	L	36,067	888	264
			Total	3,499	5,863
Enfriamiento					
Carga de base	Sistema de calefacción			527	2,957
Carga de punta	Sistema eléctrico de potencia			457	0
			Total	984	2,957

Conclusiones de la alternativa # 1

En esta alternativa el consumo de combustible fuel oil es de 3,05 millones de litros de equivalente a 3017 tcc con un costo de 0.58 \$/L para un valor de 1,77 millones de dólares elevando considerablemente el costo de este portador. Exportando del SEN 0 MWh. Permite satisfacer el 70.6 % de la demanda de electricidad con la generación de 1 354 MWh, lo que esta alternativa solo se cubra un porcentaje del total de la energía eléctrica por lo que hay que comprar la energía faltante de el SEN y si cumple con la demanda de calor y frío satisface el 95.5% de la demanda de calor, calentamiento de agua y vapor para otros usos así como satisfacer la demanda total de la planta de refrigeración por absorción con el aprovechamiento de los 2 681.4 kW de calentamiento entregados por el sistema.

Alternativa # 2: Motor de combustión interna.

Electricidad.

Sistema eléctrico de potencia de carga base

<i>Tecnología</i>	<i>Motor a pistones</i>	
<i>Estrategias de operación</i>	<i>Potencia eléctrica a plena capacidad</i>	
<i>Capacidad</i>	272 kW	110.2%
<i>Electricidad entregada a la carga</i>	1 832 MWh	95.5%
<i>Electricidad exportada a la red</i>	443 MWh	

Sistema eléctrico de potencia de carga punta

<i>Tecnología</i>	<i>Electricidad de la red</i>	
<i>Capacidad sugerida</i>	246.9 kW	
<i>Capacidad</i>	250 kW	101.3%
<i>Electricidad entregada a la carga</i>	86 MWh	4.5%

Calentamiento.

Sistema de calentamiento de carga base

<i>Tecnología</i>	<i>Motor a pistones</i>	
<i>Capacidad</i>	495 kW	58.4%
<i>Calentamiento entregado</i>	4 141 MWh	70.6%

Sistema de calentamiento de carga punta

<i>Tecnología</i>	<i>Caldero</i>	
<i>Tipo de combustible</i>	<i>Petróleo Residual (#6) - L</i>	
<i>Precio del combustible</i>	0.580 \$/L	
<i>Capacidad sugerida</i>	847.2 kW	
<i>Capacidad</i>	888 kW	104.8%
<i>Calentamiento entregado</i>	1 721.3 MWh	29.4%
<i>Fabricante</i>	<i>Viessmann</i>	
<i>Modelo</i>	VSB-89	1 unidad
<i>Eficiencia estacional</i>	65%	

Enfriamiento.

Sistema de enfriamiento de carga base

<i>Tecnología</i>	<i>Absorción</i>
-------------------	------------------

Fuente de combustible

Sistema de calefacción

Capacidad

527 kW 122.6%

Enfriamiento entregado

2 957 MWh 100.0%

Sistema de enfriamiento de carga punta

Tecnología

Compresor

Fuente de combustible

Sistema eléctrico de potencia

Capacidad

457kW 106.3%

Enfriamiento entregado

0 MWh 0.0%

Resumen del sistema del caso propuesto.

	Tipo de combustible	Unidad - Consumo combustible	Consumo de combustible	Capacidad (kW)	Energía Entregada (MWh)
Electricidad					
Carga de base	Petróleo Diesel (#2)	L	711,484	272	1,832
Carga de punta	Electricidad	MWh	86	250	86
Electricidad exportada a la red					443
			Total	522	2,362
Calentamiento					
Carga de base	Calor recuperado			495	4,141
Carga de punta	Petróleo Residual (#6)	L	235,321	888	1,721
			Total	1,383	5,863
Enfriamiento					
Carga de base	Sistema de calefacción			527	2,957
Carga de punta	Sistema eléctrico de potencia			457	0
			Total	984	2,957

Conclusiones de la alternativa #2.

Esta alternativa tiene un consumo de combustible diesel de 711 miles de litrosequivalente a 575 tcc con un costo de 0.767 \$/L para un valor de 365 miles de dólares y un consumo de fuel oíl de 235 miles de litros equivalente a 235 tcc a un precio de 0.58 \$/L para un valor de 13 miles de dólares. Exportando del SEN unos 443 MWh, esta alternativa teniendo en cuenta el costo del combustible no es viable económicamente para una planta de poligeneración. permite satisfacer el 95.5 % de la demanda de electricidad con la generación de 1 832 MWh, también satisface el 70.6 % de la demanda de calor, calentamiento de agua y vapor para otros usos así como satisfacer la demanda total de la planta de refrigeración por absorción con el aprovechamiento de los 495 kW de calentamiento entregados por el sistema.

Alternativa # 3: Turbina de Gas

Caso Diesel

Electricidad:

Sistema eléctrico de potencia de carga base

<i>Tecnología</i>	<i>Turbina a Gas</i>	
<i>Estrategias de operación</i>	<i>Potencia eléctrica a plena capacidad</i>	
<i>Capacidad</i>	<i>250 kW</i>	<i>102.7%</i>
<i>Electricidad entregada a la carga</i>	<i>1 804 MWh</i>	<i>95.5%</i>
<i>Electricidad exportada a la red</i>	<i>287 MWh</i>	

Sistema eléctrico de potencia de carga punta

<i>Tecnología</i>	<i>Electricidad de la red</i>	
<i>Capacidad sugerida</i>	<i>243.5 kW</i>	
<i>Capacidad</i>	<i>250 kW</i>	<i>102.7%</i>
<i>Electricidad entregada a la carga</i>	<i>85 MWh</i>	<i>4.5%</i>

Calentamiento:

Sistema de calentamiento de carga base

<i>Tecnología</i>	<i>Turbina a Gas</i>	
<i>Capacidad</i>	<i>854.2 kW</i>	<i>100.8%</i>
<i>Calentamiento entregado</i>	<i>4 627 MWh</i>	<i>95.5%</i>

Sistema de calentamiento de carga punta

<i>Tecnología</i>	<i>Caldero</i>	
<i>Tipo de combustible</i>	<i>Petróleo Residual (#6) - L</i>	
<i>Precio del combustible</i>	<i>0.580 \$/L</i>	
<i>Capacidad sugerida</i>	<i>847.2 kW</i>	
<i>Capacidad</i>	<i>888 kW</i>	<i>104.8%</i>
<i>Calentamiento entregado</i>	<i>265.1 MWh</i>	<i>4.5%</i>
<i>Fabricante</i>	<i>Viessmann</i>	
<i>Modelo</i>	<i>VSB-89</i>	<i>1 unidad</i>
<i>Eficiencia estacional</i>	<i>65%</i>	

Enfriamiento:

Sistema de enfriamiento de carga base

<i>Tecnología</i>	<i>Absorción</i>	
<i>Fuente de combustible</i>	<i>Sistema de calefacción</i>	
<i>Capacidad</i>	527 kW	122.6%
<i>Enfriamiento entregado</i>	3 118 MWh	100.0%

Sistema de enfriamiento de carga punta

<i>Tecnología</i>	<i>Compresor</i>	
<i>Fuente de combustible</i>	<i>Sistema eléctrico de potencia</i>	
<i>Capacidad</i>	457 kW	106.3%
<i>Enfriamiento entregado</i>	0 MWh	0.0%

Resumen del sistema del caso propuesto	Tipo de combustible	Unidad -		Capacidad(kW)	Energía Entregada(MWh)
		Consumo de combustible	Consumo de combustible		
Electricidad					
Carga de base	Petróleo Diesel (#2)	L	1,089,896	250	1,804
Carga de punta	Electricidad	MWh	85	250	85
Electricidad exportada a la red					287
			Total	500	2,176
Calentamiento					
Carga de base	Calor recuperado			854	5,627
Carga de punta	Petróleo Residual (#6)	L	36,247	888	265
			Total	1,742	5,892
Enfriamiento					
Carga de base	Sistema de calefacción			527	3,118
Carga de punta	Sistema eléctrico de potencia			457	0
			Total	984	3,118

Conclusiones de la alternativa #3 con diesel.

Esta alternativa tiene un consumo de combustible de 1,08 millones de litros de diesel con un costo de 0.767 \$/L para un valor de 835 miles de dólares y un consumo de fuel oíl de 36 miles de litros a un precio de 0.58 \$/L para un valor de 21 miles de dólares. Exportando del SEN unos 283 MWh, esta alternativa teniendo en cuenta el costo del combustible no es viable económicamente para una planta de poligeneración. Permite satisfacer el 95.5 % de la demanda de electricidad con la generación de 1,804 MWh, también satisface el 95.5 % de la demanda de calor, calentamiento de agua y vapor para otros usos así como satisfacer la demanda total de la planta de refrigeración por absorción con el aprovechamiento de los 854 kW de calentamiento entregados por el sistema.

Caso Gas Natural

Electricidad:

Sistema eléctrico de potencia de carga base

<i>Tecnología</i>	<i>Turbina a Gas</i>	
<i>Estrategias de operación</i>	<i>Potencia eléctrica a plena capacidad</i>	
<i>Capacidad</i>	<i>250 kW</i>	<i>102.7%</i>
<i>Electricidad entregada a la carga</i>	<i>1 804 MWh</i>	<i>95.5%</i>
<i>Electricidad exportada a la red</i>	<i>287 MWh</i>	

Sistema eléctrico de potencia de carga punta

<i>Tecnología</i>	<i>Electricidad de la red</i>	
<i>Capacidad sugerida</i>	<i>243.5 kW</i>	
<i>Capacidad</i>	<i>250 kW</i>	<i>102.7%</i>
<i>Electricidad entregada a la carga</i>	<i>85 MWh</i>	<i>4.5%</i>

Calentamiento:

Sistema de calentamiento de carga base

<i>Tecnología</i>	<i>Turbina a Gas</i>	
<i>Capacidad</i>	<i>975 kW</i>	<i>115.1%</i>
<i>Calentamiento entregado</i>	<i>5627 MWh</i>	<i>95.5%</i>

Sistema de calentamiento de carga punta

<i>Tecnología</i>	<i>Caldero</i>	
<i>Tipo de combustible</i>	<i>Petróleo Residual (#6) - L</i>	
<i>Precio del combustible</i>	<i>0.580 \$/L</i>	
<i>Capacidad sugerida</i>	<i>847.2 kW</i>	
<i>Capacidad</i>	<i>888 kW</i>	<i>104.8%</i>
<i>Calentamiento entregado</i>	<i>265.1 MWh</i>	<i>4.5%</i>
<i>Fabricante</i>	<i>Viessmann</i>	
<i>Modelo</i>	<i>VSB-89</i>	<i>1 unidad</i>
<i>Eficiencia estacional</i>	<i>65%</i>	

Enfriamiento.

Sistema de enfriamiento de carga base

<i>Tecnología</i>	<i>Absorción</i>	
<i>Fuente de combustible</i>	<i>Sistema de calefacción</i>	
<i>Capacidad</i>	<i>527 kW</i>	<i>122.6%</i>
<i>Enfriamiento entregado</i>	<i>3118 MWh</i>	<i>100.0%</i>

Sistema de enfriamiento de carga punta

Tecnología	Compresor
Fuente de combustible	Sistema eléctrico de potencia
Capacidad	457 kW 106.3%
Enfriamiento entregado	0 MWh 0.0%

Resumen del sistema del caso propuesto	Tipo de combustible	Unidad - Consumo combustible	Consumo de combustible	Capacidad (kW)	Energía Entregada (MWh)
Electricidad					
Carga de base	Gas natural	m ³	1,506,297	250	1,804
Carga de punta	Electricidad	MWh	85	250	85
Electricidad exportada a la red					287
				Total	2,176
Calentamiento					
Carga de base	Calor recuperado			975	5,627
Carga de punta	Petróleo Residual (#6)	L	36,247	888	265
				Total	5,892
Enfriamiento					
Carga de base	Sistema de calefacción			527	3,118
Carga de punta	Sistema eléctrico de potencia			457	0
				Total	3,118

Conclusiones de la alternativa #3 con Gas Natural.

Esta alternativa tiene un consumo de combustible de 1,5 millones de metros cúbicos de gas natural con un costo de 0.076 \$/L para un valor de 114 miles de dólares y un consumo de fuel oil de 36 miles de litros a un precio de 0.58 \$/L para un valor de 21 miles de dólares. Exportando del SEN unos 287 MWh, esta alternativa teniendo en cuenta el costo del combustible no es viable económicamente para una planta de poligeneración. Permite satisfacer el 95.5 % de la demanda de electricidad con la generación de 1 804 MWh, también satisface el 95.5 % de la demanda de calor, calentamiento de agua y vapor para otros usos así como satisfacer la demanda total de la planta de refrigeración por absorción con el aprovechamiento de los 975kW de calentamiento entregados por el sistema.

3.3- Equipos utilizados, costos de inversión y mantenimiento.

Es necesario tener una relación de los posibles equipos a utilizar, de los mismos conocer sus capacidades y sus costos, tanto de inversión como de operación y mantenimiento. La tabla 3.1 se muestran algunas de las tecnologías de

cogeneración existentes, en la que se muestran datos de la eficiencia, el costo de las tecnologías energéticas y costo de operación y mantenimiento.

Tabla 3.1 Características generales y costos de algunas tecnologías de cogeneración.

Tecnología	Potencia [MW]	Eficiencia eléctrica [%]	Eficiencia global [%]	Inversión [USD/kW]	Costo O & M [USD/kWh]
Turbina de vapor	0,25 – 500	12 – 25	60 – 80	200 – 1 800	0,0027
Turbina de gas	0,25 – 50	25 – 42	65 – 87	400 – 8 500	0,004 – 0,009
Microturbinas de gas	0,005 – 0,1	15 – 30	60 – 85	600 – 850	0,006 – 0,01
MACI (Otto y Diesel)	0,003 – 20	25 – 45	65 – 92	300 – 1 450	0,007 – 0,014

3.4 - Impacto sobre el medio ambiente local de las alternativas energéticas seleccionadas.

Al quemar combustibles fósiles se envían a la atmósfera sustancias residuales de dicha combustión que son altamente nocivas para los seres humanos y para el medio ambiente. Cuando el carbono, por ejemplo, que se emite a la atmósfera por las chimeneas de las termoeléctricas se combina con el oxígeno del aire, se forma el dióxido de carbono (CO₂), gas de referencia en el cálculo de los potenciales de efecto invernadero de acuerdo con el Protocolo de Kyoto. También se emiten otros gases de efecto invernadero que son causantes de las lluvias ácidas y de afecciones respiratorias en los seres humanos. Se estima que por cada kilowatt-hora generado en una de nuestras centrales termoeléctricas, se emiten a la atmósfera 715 g de gases de efecto invernadero.

El área de la zona hospitalaria de la ciudad de Santa Clara donde se encuentra el hospital Provincial Arnaldo Milián Castro es una de las más contaminadas del municipio. En esta zona existen tres hospitales: el Pediátrico José L. Miranda, el Materno Mariana Grajales y el policlínico Chiqui Gómez, además existen otras entidades como la Fábrica de Refrescos Osvaldo S. Martínez, la Empresa Lácteos Villa Clara y el Instituto Superior de Ciencias Médicas (ISCM) Serafín Ruíz de Zárate Ruíz, estas entidades emiten a la atmósfera considerables cantidades de gases contaminantes durante todo el año, además se encuentran ubicadas en un

área relativamente cercana y muy densamente poblada lo que provoca un alto nivel de contaminación local en esta zona.

Las alternativas de suministro energético propuestas en este capítulo contribuyen a la reducción de los consumos globales de combustibles en comparación con el sistema de suministro energético tradicional, sin embargo, estas alternativa provocan un aumento del consumo de combustible para el hospital, aumentando también la emisión de gases, por lo que es necesario analizar el impacto de estas emisiones sobre la calidad del aire en la zona.

Para el presente trabajo se analiza solamente las emisiones de CO₂, con el objetivo de establecer una comparación con las emisiones del sistema tradicional como se muestra en la tabla 3.4.

Tabla 3.3 Análisis de emisiones de CO₂ a la atmósfera:

Variantes	Emisiones en (t CO ₂ /kWh)
Alternativa #2(Motor de pistones)	1 581
Alternativa #3 (Gas Natural)	1 306

Como se aprecia en la tabla anterior la alternativa 2, motor de pistones emite a la atmósfera un total 1581 t CO₂/kWh y para la alternativa 3, turbina de gas que utiliza gas natural como combustible las emisiones son de 1306 t CO₂/kWh, siendo las emisiones de la turbina de gas las de menor impacto ambiental.

Análisis de los resultados obtenidos.

Para las diferentes alternativas propuestas se determinó que las variantes de mejores resultados desde el punto de vista económico son:

- Motor de pistones (diesel)
- Turbina de gas (Gas Natural)

Tabla 3.4 Parámetros fundamentales para la comparación de las alternativas 2 y 3.

Parámetros	Alternativa 2 (motor de pistones)	Alternativa 3 (Turbina de gas (Gas Natural))
Energía eléctrica producida (kW)	272	250
Entrega al SEN (MWh)	443	287
Costos de inversión (USD)	231 200	475 000
Tasa Interna de Retorno, TIR	5.3	0.7
Emissiones de CO ₂ (t CO ₂ /kWh)	1581	1306

El resumen que aparece en la tabla 3.4 de los principales resultados de las alternativas estudiadas en los capítulos anteriores, constituye la base fundamental de la selección de una u otra variante. Un balance de estos resultados muestra claramente que la alternativa 3, turbina de gas con combustible gas natural es la más viable, ya que cumple con todas las demandas, y se aprovechan las calderas existentes en la instalación para que trabajen en el horario pico, hay un menor consumo de combustible y menor misiones de t CO₂/kWh.

La tecnología usada para la alternativa seleccionada sería una instalación una turbina de gas de marca y modelo *Ingresoll-RandT250* de 250 kW de potencia que funcionarían con gas natural, y un planta de refrigeración por absorción de agua – bromuro de litio de marca y modelo Mitsubishi Electric MDU-15A, con una capacidad de frío de 527 kW. Esta inversión costaría (a precios durante el período análisis) unos 135 miles de dólares y permitiría una recuperación de la inversión en unos dos años aproximadamente, la cual se pagaría fundamentalmente por los ahorros netos logrados durante su operación al sustituir el sistema actual de suministro energético y en menor medida por entrega de energía eléctrica al SEN.

Conclusiones.

1. La caracterización de los portadores energéticos muestra que el 78.3 % del total de los consumos de los portadores energéticos con 1 567 tcc, corresponden a la electricidad con 1 227 tcc (3 355 MWh) y el fuel oíl con 321 tcc (321 miles de litros) representa el 20.5 %, siendo estos portadores lo más consumidos por el hospital durante el 2013.
2. Al realizar un análisis entre el año 2014 y años anteriores se ve como en los últimos años se ha incrementado un aumento considerable de energía debido a la constante instalación de nuevos equipos de clima como aires acondicionados, split y otros.
3. La variante de turbina de gas con combustible gas natural permite satisfacer en un 95.5 % la demanda de energía eléctrica, con la generación de 1 136 MWh, también satisface el 92 % de la demanda de calor, calentamiento de agua y vapor para otros usos así como la demanda total de la planta de refrigeración por absorción, lo que habría que tener en cuenta la capacidad de almacenamiento y la transportación del gas natural y ver si no se encarece esta variante.

Recomendaciones.

1. Aumentar los conocimientos en la utilización del software RETScreen para garantizar la calidad de estudios posteriores sobre el tema de la cogeneración y regeneración. .
2. Analizar con el software RETScreen la alternativa 1 con una caldera de vapor de mayor capacidad para garantizar la demanda de electricidad y no tener que exportar del SEN.

Anexos.

Anexo 1: Consumo de energía eléctrica por meses para el 2013

Año 2013				
Meses	Real [MWh]	Plan [MWh]	% Ejecución	Ahorro [MWh]
Enero	273	343	79,56	20,44
Febrero	234	310	75,59	24,41
Marzo	227	358	63,36	36,64
Abril	272	377	72,30	27,70
Mayo	275	421	65,40	34,60
Junio	291	392	74,29	25,71
Julio	314	405	77,51	22,49
Agosto	311	405	76,69	23,31
Septiembre	314	423	74,33	25,67
Octubre	309	405	76,26	23,74
Noviembre	261	347	75,10	24,90
Diciembre	273	351	77,77	22,23
Total	3355	4537	73,94	26,06

Anexo 2: Estado técnico de los equipos existentes en la sala de lavandería.

Marca	Cap.	funciona	Cap. de operación	Pot. eléctrica		Deficiencia
GIRBAU STI-34	34kg	SI	10 kg	1.9 KW		Le falta el compresor
Shenling	25kg	NO			0.4-0.6 MPa	Parada por un interruptor
Shenling	25kg	SI	5 kg		0.4-0.6 MPa	Tiene el fondo oxidado
Shenling	15kg	NO				Parada por el motor quemado
Centrifuga	25kg	SI				Se encuentra oxidada por completo y presenta vibraciones.
Centrifuga	15kg	NO			Sin datos	Parada por el motor quemado
2 Lavadoras	50kg	NO			Sin datos	Parada por correas y motor quemado.
Lavadoras	100kg	SI			Sin datos	En mal estado
Secadora GIRBAU	17 kg	NO				Parada por la tarjeta.
Secadora GIRBAU	22kg	NO				Parada por la tarjeta.

Anexo 3: Consumo de Fuel oil en litros de combustible convencional por meses para el 2013

Mes	Plan de fuel [Lts/mes]	Consumo total [L/mes]	% de cumplimiento	Ahorro o desahorro [%]	Horas Trabajadas
Enero	25416,66	23325	91,77	8,23	375,00
Febrero	25416,66	21687	85,33	14,67	329,50
Marzo	25416,66	24509	96,43	3,57	367,50
Abril	25416,66	24025	94,52	5,48	359,00
Mayo	25416,66	28923	113,80	-13,80	379,50
Junio	25416,66	35242	138,66	-38,66	379,00
Julio	25416,66	32644	128,44	-28,44	372,00
Agosto	25416,66	24285	95,55	4,45	329,00
Septiembre	25416,66	28007	110,19	-10,19	340,50
Octubre	25416,66	29370	115,55	-15,55	371,00
Noviembre	25416,66	26017	102,36	-2,36	354,00
Diciembre	25416,66	23595	92,83	7,17	350,00
Total	304999,92	321629	105,45	-5,45	4306,00

Anexo 4: Consumo del gas licuado por meses para el año 2013

	Plan [kg]	Real [kg]	% de cumplimiento	Ahorro o desahorro [kg]
Enero	225	225	100	0
Febrero	225	225	100	0
Marzo	270	270	100	0
Abril	225	225	100	0
Mayo	225	225	100	0
Junio	270	315	117	-45
Julio	225	270	120	-45
Agosto	225	270	120	-45
Septiembre	270	315	117	-45
Octubre	225	270	120	-45
Noviembre	225	225	100	0
Diciembre	225	225	100	0
Total	2835	3060	108	-225

Anexo 5: Consumo del gas licuado (Bala) por meses para el año 2013

	Plan	Consumo Real [L]	% de cumplimiento	Ahorro o desahorro	Serviciosprestados [serv-pres]
Enero	1633	1600	97.98	2.02	11239
Febrero	1633	1650	101.04	-1.04	10755
Marzo	1633	1650	101.04	-1.04	11515
Abril	1633	1625	99.51	0.49	11686
Mayo	1633	1670	102.27	-2.27	11709
Junio	1633	1650	101.04	-1.04	11550
Julio	1633	1670	102.27	-2.27	11212
Agosto	1633	1633	100.00	0.00	10915
Septiembre	1633	1633	100.00	0.00	11036
Octubre	1633	1633	100.00	0.00	12230
Noviembre	2000	2000	100.00	0.00	11546
Diciembre	2000	2000	100.00	0.00	10821
Total	20330	20414	100.43		136214

Anexo 6 Consumo de combustible (diesel) para el 2013

Meses	Consumo [L]	Energíagenerada [kWh]	Índice de consumo [L/kWh]	Promedio [kWh]	Horas trabajadas
Enero	73,00	280,70	0,26	0,30	7,61
Febrero	459,00	1467,56	0,31	0,30	11,57
Marzo	1570,00	4355,08	0,36	0,30	20,44
Abril	359,10	760,20	0,47	0,30	6,07
Mayo	806,00	2735,96	0,29	0,30	17,51
Junio	662,50	2107,91	0,31	0,30	20,09
Julio	390,50	1735,40	0,23	0,30	14,76
Agosto	1612,15	4437,93	0,36	0,30	22,83
Septiembre	366,00	2472,66	0,15	0,30	12,86
Octubre	954,00	3172,96	0,30	0,30	22,13
Noviembre	1915,00	6218,10	0,31	0,30	39,15
Diciembre	542,00	1947,90	0,28	0,30	15,33
Total	9709,25	31692,36	0,31		210,35

Anexo 7 Factores de conversión a tonelada de combustible convencional, 2013.

Portadores	UM	Factor de conversión
Energía eléctrica	MWh	0,366
Fuel oil	t	0,99
GLP	t	1,163
Diesel	t	1,053

Anexo 8: Precios de compra a CUPET de los portadores 2013. Para los organismos.

Portador	Valor	UM
Diesel	1127,6	CUC/t
Gasolinas	1272,2	CUC/t
Fuel oil	701,4	CUC/t
Nafta	902,2	CUC/t
GLP	1246,9	CUC/t
Gas natural	77,5	CUC/t
Lubricantes	2900	CUC/t
Electricidad	254,2	CUC/MWh
Asfalto		CUC/t

Anexo 9: Consumo de los portadores energéticos en tcc 2012 vs 2013

	Plan 2012	Real 2012	Plan 2013	Real 2013
Eléctricidad	1699.81	1535.19	4537	3355
Fuel Oil	330.39	332.57	304.999	321.629
GLP	12.278	12.28		27.2
Diesel		2.77		9.7

Bibliografía:

1. Wikipedia *Uso racional de la energía*. . 2012
2. *Guía de cogeneración*. 2010.
3. Pérez, E.M., *Alternativas de suministro energético para el Hospital "Arnaldo Milián Castro" mediante la aplicación del software RETScreen*. 2012, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas Santa Clara.
4. García, J.T.y.L. *Cogeneración es el proceso de producción simultánea de energía térmica (Calor útil) y energía eléctrica y/o mecánica, que hace parte integrante de una actividad productiva destinada a procesos industriales o comerciales"*.
5. J. Madariaga Arrizurieta, R.R.D., *La cogeneración aplicada a la climatización de hospitales.Particularidades en el marco económico cubano* 1999.
6. Cuba, *Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución*. 2011: p. 30-33.
7. Zayas., C.M., *Análisis preliminar para la búsqueda de un sistema de cogeneración más eficiente en el Hospital Arnaldo Milián Castro*. 2006, Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas Santa Clara.
8. *Estudio de viabilidad de un sistema de trigeneración mediante microturbinas de gas*. 2010. 125.
9. Isa. *Trigeneración*. 12 de abril [2014]; Available from: www.isa.com.co.
10. LIZARRAGA, S., *Cogeneración. Aspectos Termodinámicos, Tecnológicos y Económicos*. 1994.
11. Wikipedia. *Refrigeración_por_absorción*. 12 de abril 2014]; Available from: wikipedia.org.
12. Lorenzo, D.D.A., *Implementación del software de simulación energética Energy Plus al Hospital Clínico Quirúrgico "Arnaldo Milián Castro" de Santa Clara*. 2013, Universidad Central Marta Abreu de las Villas: Santa Clara.
13. *Hospital Provincial Universitario "Arnaldo Milián Castro"*. 2011; Available from: <http://www.hamc.vcl.sld.cu/hamc>. .

14. Rodriguez, P. *Análisis del modo de trabajo de la subestación del Hospital*. 2012.
15. Rodriguez, P., *Control de horas trabajadas y consumo de grupos electrogenos hospital Arnaldo Milian Castro* 2013.
16. Ruiz, R., *Levantamiento de cargas por áreas del Hospital Arnaldo Milán Castro*. 2012.
17. Rodriguez, P., *Real Acumulado por meses hospital Arnaldo Milian Castro* 2013: Santa clara.
18. Leyva, A. *Tarea Técnica*. 2011.
19. Mederos, A.W.M., *ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO ENERGÉTICO PARA EL HOSPITAL PROVINCIAL CLÍNICO QUIRÚRGICO UNIVERSITARIO "ARNALDO MILIÁN CASTRO" DE SANTA CLARA*. 2011, UCLV: Santa Clara.
20. Cuba, N.S., *INFORME TECNICO CALDERAS DE VAPOR No. 1 y 3 ORGANISMO: MINSAP. EMPRESA: Hospital "Arnaldo Milian Castro". Ubicación: SALA DE CALDERAS. Modelo: CMS4000*. 2013: Santa Clara.
21. Santos Cuba, N., *INFORME TECNICO CALDERAS DE VAPOR No. 2 ORGANISMO: MINSAP. EMPRESA: Hospital "Arnaldo Milian Castro". SALA DE CALDERAS. Modelo: PKM-4T*. 2013: Santa Clara.
22. Rodriguez, P., *Control de consumo fuel-oil hospital Arnaldo Milian Castro* (2013).
23. Rodriguez, P., *Servicios de gas por áreas hospital Arnaldo Milian Castro* 2013.
24. Rodriguez, P., *Consumo de GLP kg hospital Arnaldo Milian Castro* 2013.
25. Rodriguez, P., *Consumo de GLP Lts hospital Arnaldo Milian Castro* 2013.
26. Software RETScreen. 2012 [cited 20.6.2014; Available from: <http://www.suelosolar.es>.
27. *Curso de análisis de proyectos de energia limpia*. 2012.
28. *Textbook-RETScreen*. 2010.
29. Canada, M.o.N.R., *Análisis Financiero y de Riesgo con Software RETScreen*. 2005.
30. Canada, M.o.N.R., *Introducción al Análisis de Proyectos de Energía Limpia*. 2005.
31. Canada, M.o.N.R., *RETScreen_Cogeneracion_es*. 2005.

32. Canada, M.o.N.R., *RETSscreen_Demanda_de_calor_Demanda_de_enfriamiento*. 2012.
33. Canada, M.o.N.R., *Course_pv_es*. 2010.
34. Román, R. *Guía para el Uso de Retscreen*. 2012.
35. Canada, M.o.N.R. *Proyecto Minnesota - USA*. 2005.
36. Canada, M.o.N.R. *Cogeneración*. 2005.
37. Center, M.C.A. *Smithfield Foods 30 kW Demonstration CHP Application*. 2005.
38. *Cory Cogeneration Project*. 2002.
39. DEVELOPMENT, U.S.D.O.H.A.U., *COMBINED HEAT AND POWER*. 2001.
40. CADDET Centre for Renewable Energy ETSU, H.O., *Landfill Gas Fuelled Power Plant Using a Lean-Burn Engine*. 2005.
41. COGEN. *Eco-friendly conversion of palm oil wastes into useful energy How Sungei Dingin Palm Oil Mill (Guthrie) will do it*. 2004; Available from: www.cogen3.net.
42. efficiency, C.e. *Retrofit cogeneration system at milk processing plant*. 2010.
43. CADDET Centre for Renewable Energy ETSU, H.O., *Dual-path heat pump system used in superstore*. 2000.
44. CADDET Centre for Renewable Energy ETSU, H.O. *Paper mill uses combined cycle CHP with landfill gas*. 2000.