

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: Alternativas de cogeneración para el Hospital Militar Cdte:

“Manuel Pity Fajardo Rivero” de Santa Clara.

Autor: Daileny Martínez Martínez.

Tutores: Ing. Alfredo Leyva Céspedes.

Dr. Pablo Roque Días.

Año 53 de la Revolución

Curso: 2010-2011

CON SU ENTRAÑABLE TRANSPARENCIA



Resumen

El presente trabajo se basa en la caracterización de los portadores energéticos existentes en el Hospital Militar Cdte: “Manuel Pity Fajardo” ubicado en la ciudad de Santa Clara, se realiza con el objetivo de seleccionar una alternativa de cogeneración que garantice las demandas de electricidad y calor requeridas por el mismo, para ello se recopiló la información necesaria en cuanto a los consumos de portadores energéticos durante el año 2010 lo que permitió posteriormente su caracterización, lo cual mostró que el mayor consumo fue el de la energía eléctrica con 174,9 tcc, seguido del combustible diesel para calderas con 54,2 tcc, el GLP con 6,7 tcc y el diesel planta con 2,1 tcc. Con este estudio se construyeron también las curvas de simultaneidad de las demandas de electricidad y calor, conjuntamente con la razón calor / electricidad lo que permitió seleccionar las alternativas propuestas. De acuerdo a los resultados obtenidos la alternativa A2 resultó ser la mejor, pues permite satisfacer las demandas de electricidad y calor con ahorros de 125 tcc y de 138 MUSD/año suministrando al SEN unos 173 kW_e que representan anualmente unos 133 MUSD/año, además su VAN fue de 383,9 miles de dólares y la TIR representó el 12 % con un periodo de recuperación de la inversión de 1,5 años aproximadamente.

Abstract

This work is based on the characterization of existing energy carriers in the Hospital Militar Cdte: "Manuel Pity Fajardo" located in the city of Santa Clara, it was done in order to select an alternative of cogeneration that ensures the demands of electricity and heat required by the hospital, for this study the necessary information was gathered regarding the consumption of energy carriers in 2010 which allowed for further characterization, which showed that the most consumed energy carrier was electricity with 174.9 tcc , followed by diesel for the boilers with 54.2 tcc, GLP with 6.7 tcc and the diesel plant with 2.1 tcc. This study also constructed curves of simultaneous demands for electricity and heat, together with the ratio of heating / electricity which allowed selection of the proposed alternatives. According to alternative A2 results, this proved the best, it can meet the demands for electricity and heating, with savings of 125 tcc and 138 MUSD / year supplying about 173 kWe to the SEN annually which represents about 133 million USD / year, plus its VAN was 383.9 thousand dollars and TIR 12% with a payback period of investment of 1.5 years or so.

Índice

Introducción.	6
Capítulo I. “Estado del arte.”	9
1.1- Introducción	9
1.2- Breve historia sobre la cogeneración.	10
1.3- Cogeneración.	11
1.3.1- Ventajas y desventajas de los sistemas de cogeneración.	12
1.4- Impacto de los sistemas de la cogeneración en el sector industrial y a nivel de país.	13
1.5- Tecnologías utilizadas en los sistemas de cogeneración.	13
1.5.1- Máquinas y turbinas de vapor.	14
1.5.2- Motores de combustión interna.	14
1.5.3- Turbinas de gas.	14
1.5.4- Microturbinas de gas.	15
1.5.5- Otras tecnologías.	15
1.6- Potencialidades por sectores de los sistemas de cogeneración.	16
1.7- Campos de aplicación de los sistemas de cogeneración.	16
1.8- Índices de consumo.	17
1.9- Trigeneración.	17
1.9.1- Ventajas y desventajas de la trigeneración.	18
1.10- Simultaneidad de las demandas.	18
1.11- Breve caracterización del hospital.	20
Capítulo II. Caracterización de demandas y alternativas de cogeneración.	21
2.1- Portadores energéticos consumidos por el hospital.	21
2.2- Estructura de los consumos de electricidad.	22
2.3- Estructura de los consumos de diesel para las calderas.	24
2.4- Estructura de los consumos de diesel planta.	25
2.5- Estructura de los consumos de GLP.	27
2.6- Índices globales.	27
2.7- Simultaneidad de las demandas actuales de electricidad y calor.	29
2.8- Desglose de los consumos de 2010.	30
2.9- Alternativas de cogeneración.	31
2.10- Necesidades de suministro energético.	31
2.10.1- Alternativa #1. Caldera con turbina de vapor a contrapresión.	31

2.10.2- Alternativa #2. Motor alternativo de combustión interna (MACI) con aprovechamiento de los gases de escape y calor de enfriamiento.	32
2.10.3- Alternativa #3. Turbina de gas (TG) con recuperación del calor de escape.....	33
2.11- Resumen de los resultados obtenidos.....	34
Capítulo III. Valoración económica, medioambiental y análisis de resultados.....	36
3.1- Valoración económica del sistema actual.....	36
3.2- Análisis económico de las diferentes alternativas de suministro energético.	38
3.2.1- Suministradores de equipos, costos de inversión y mantenimiento.....	38
3.2.2- Resultados obtenidos del cálculo de prefactibilidad.	38
3.3- Mejoras que brindan las alternativas de suministro energético propuestas.	39
3.4- Impacto ambiental.....	40
3.4.1- Efecto de los contaminantes sobre la salud.	41
3.4.2- Impacto de las alternativas de suministro energético sobre la calidad del aire en el área donde se encuentra ubicado el hospital.	43
3.5- Análisis y discusión de los resultados obtenidos.	45
Conclusiones.	47
Recomendaciones.	48
Bibliografía.	49
Anexos.....	51

Introducción.

La energía es, un recurso material que puede ser transformado en bienes y servicios útiles, que son, a fin de cuentas, los objetivos finales de su utilización por la humanidad. Estas transformaciones se consiguen en dispositivos e instalaciones de función especializada, que permiten convertir unas formas de la energía en otras, y éstas en los resultados perseguidos. Por otro lado, la energía se transporta y transmite mediante fluidos y otros vehículos materiales llamados portadores energéticos, que también sufren transformaciones en el proceso de utilización de la energía.

En la actualidad, la generación de bienes y servicios en nuestra sociedad se basa fundamentalmente en el consumo de combustibles fósiles no renovables, como el petróleo. Sin embargo es previsible el agotamiento de estos combustibles fósiles y el daño irreversible que se ocasiona al medio ambiente, prestar atención a la elevación de la eficiencia energética es trascendental en estos momentos donde la tendencia a el encarecimiento de la energía y al agotamiento de los recursos hídricos obliga a utilizarlos cada vez de manera más racional y eficiente. Es por ello que en el sector energético estamos comprometidos en el desarrollo de una política integral que, además de promover la utilización de energías alternativas, haga especial énfasis en los programas de ahorro y uso eficiente de la energía, que permitan satisfacer las necesidades energéticas de la generación actual.

Se demuestra que la mejor fuente de energía es aquella que se ahorra: la eficiencia energética, ya que no requiere gastos adicionales de energía primaria y no produce contaminación adicional, sino que contribuye a su mitigación mediante la sustitución de cantidades apreciables de energía primaria que de otra forma hubiera sido preciso utilizar. La aplicación de sistemas de suministro basados en la cogeneración o trigeneración implica un enfoque racional que con frecuencia conduce a notables disminuciones del consumo de energía primaria en el sector industrial y también en el sector terciario.

La cogeneración como alternativa de incremento de la eficiencia energética es poco empleada, a pesar de que sus potencialidades son extraordinarias. Cogenerar significa aprovechar una misma fuente primaria de energía: petróleo, carbón, gas o biomasa, a fin de producir electricidad, calor para cocción, calefacción, refrigeración u otros usos al mismo tiempo. En los casos en que se produce simultáneamente electricidad, calor y frío, suele llamársele trigeneración. El empleo de la cogeneración permite incrementar la eficiencia en el uso de los combustibles y es una tecnología de amplio empleo en la actualidad. La misma puede introducirse en industrias de proceso, hoteles, hospitales, y en general en toda instalación donde se genere vapor a partir de un combustible y se demande electricidad o frío.

En Cuba existen numerosas instalaciones dedicadas a la atención de salud, entre las cuales destacan las instituciones hospitalarias que resultan ser altas consumidoras de energía en forma de electricidad, calor y refrigeración. La composición de sus demandas energéticas resulta tener una distribución de tres partes: calor para cocción de alimentos, lavandería, esterilización, agua sanitaria y otras aplicaciones; refrigeración centralizada para climatización y energía eléctrica para otros usos: iluminación, equipamiento diverso de investigación, atención de salud y aseguramiento. Estas y otras particularidades del abastecimiento energético de los hospitales, indican que puede resultar muy conveniente y económicamente viable la creación de un sistema de cogeneración que sea capaz de satisfacer las demandas de electricidad mediante generación distribuida y utilizar el calor residual para sustituir total o parcialmente el consumo de combustible y el de electricidad.

Por tanto en concordancia con el esfuerzo que se viene realizando en nuestro país en aras de disminuir los consumos de portadores energéticos de una manera mucho más racional y eficiente, se desarrolla este trabajo en el Hospital Militar Cdte: “Manuel Pity Fajardo” de la ciudad de Santa Clara, dirigido a comprobar la factibilidad de aplicar nuevas alternativas de cogeneración a partir de los estudios que se realizarán, puesto que dicho hospital constituye un alto consumidor debido a los varios servicios que presta. Dada esta situación problemática se traza la siguiente hipótesis.

Hipótesis de investigación.

Evaluando detalladamente los consumos y demandas de los principales portadores energéticos existentes en el Hospital Militar Cdte: “Manuel Pity Fajardo” de Santa Clara se pueden proponer alternativas de cogeneración que conlleven a un uso más eficiente y racional de la energía, así como a la disminución de sus costos.

Objetivo general.

Selección de una alternativa de cogeneración que garantice las demandas de electricidad y calor requeridas por el Hospital Militar Cdte: “Manuel Pity Fajardo” de Santa Clara.

Objetivos específicos.

1. Realizar un estudio detallado de los consumos de portadores energéticos del hospital para el año 2010.
2. Caracterizar las demandas actuales de electricidad y calor para el año en análisis.
3. Proponer distintas alternativas de suministro energético para el hospital.

4. Realizar un análisis de factibilidad económica y medioambiental de las alternativas propuestas.
5. Seleccionar la alternativa de suministro energético más ventajosa para el hospital.

Capítulo I. “Estado del arte.”

1.1- Introducción

Dos insumos centrales en la mayor parte de las empresas industriales son “**las energías térmica y eléctrica**”. Cuando estas dos formas de energía son requeridas de manera conjunta en una instalación, se presenta la oportunidad de implantar **sistemas de cogeneración**, lo cual conlleva de manera simultánea una mayor eficiencia en el uso de combustibles fósiles y menor generación de emisiones contaminantes. Refleja un ahorro de la energía primaria, petróleo, gas natural, carbón mineral y biomasa el hacer un uso más eficiente de los recursos energéticos.

Cada día son más los ejemplos de aplicación de estas técnicas. En hospitales y centros sanitarios la cogeneración funcionando permanentemente en paralelo con el suministro de la red eléctrica pública, proporciona una seguridad de suministro eléctrico ininterrumpido; a la vez que el calor cogenerado puede ser usado para la calefacción, necesidades de agua caliente en lavanderías y servicios auxiliares, etc. Incluso mediante una máquina de absorción puede obtenerse frío a partir de calor cogenerado. También es útil la cogeneración en industrias que precisan alta seguridad en el suministro eléctrico ininterrumpido, a la vez que son grandes consumidoras de vapor o agua caliente en sus procesos (industria alimentaria, química, papelera o de acabados textiles).

La cogeneración, entendida como la producción de varios servicios energéticos a partir de una única fuente primaria, es conocida y utilizada en el mundo desde hace más de un siglo, asociada frecuentemente a la producción industrial y a otras actividades del sector de la producción. Generalmente consiste en un sistema de abastecimiento total o parcial de las necesidades de energía secundaria (potencia mecánica o eléctrica y energía térmica) mediante su producción *in situ* a partir de una única fuente de energía primaria, por lo común un combustible fósil. A fin de garantizar la fiabilidad durante la eventual inestabilidad del proceso, con frecuencia se establecen convenios con los distribuidores tradicionales de energía eléctrica, que amparan el suministro en momentos de déficit y la compra de los excedentes en caso de que se produzcan.

Aunque las instalaciones de cogeneración en sus inicios eran mayoritariamente máquinas de vapor de contrapresión, en principio todas las máquinas térmicas productoras de potencia son a la vez productoras de calor, que puede ser utilizado para satisfacer demandas de calentamiento y también de refrigeración, lo que amplía considerablemente el universo de

alternativas disponibles entre las cuales es posible elegir la más conveniente para cualquier aplicación concreta.

Puede decirse que la decisión de factibilidad de una instalación de cogeneración quedará decidida por el valor real del incremento de la eficiencia energética lograda respecto a la situación real, y por los indicadores económicos que con ese incremento se logren, que permitan en un plazo razonable compensar los costos de inversión y otros inducidos a partir del valor de la energía primaria economizada durante su vida útil.

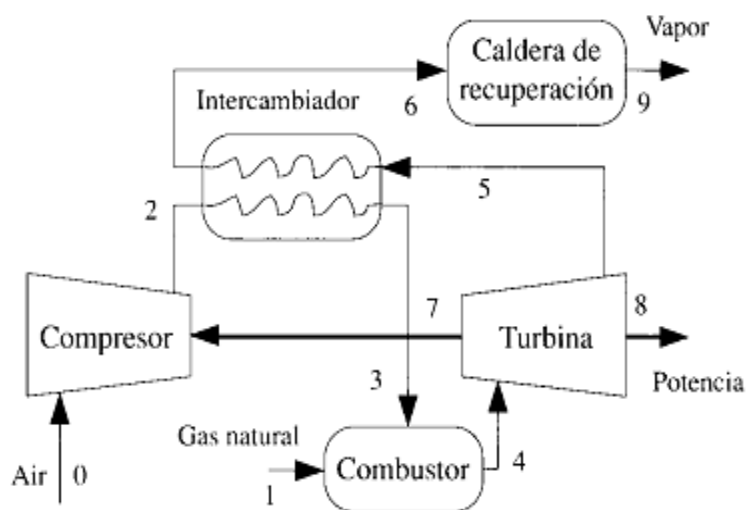


Fig. 1.1: Estructura de una planta de cogeneración.

1.2- Breve historia sobre la cogeneración.

La cogeneración se inició en Europa a finales del siglo pasado, extendiéndose desde allí a los EE.UU, pues hace más de cien años los europeos aprovechaban el calor residual de las centrales eléctricas. El crecimiento del sector industrial requería cantidades crecientes de energía eléctrica y como las redes de distribución de las compañías eléctricas estaban poco extendidas y como la seguridad de suministro continuo presentaba escasa fiabilidad, las industrias tuvieron que generar su propia electricidad. Esto se llevó a cabo mediante dos métodos fundamentales:

1. Cogeneración en las propias factorías
2. Aprovechamiento de los saltos hidráulicos situados en las proximidades de las fábricas.

El abaratamiento de los combustibles para las centrales térmicas hizo que las inversiones e instalaciones de cogeneración se convirtieran en poco rentables, excepto en los casos en los que la factoría dispusiera de calores residuales o se encontrara aislada de las redes de distribución.

La industria del gas intento relanzar la cogeneración para usos residenciales y comerciales a través de los equipos de energía total en el periodo 1960-1970 y consiguió realizar diversas instalaciones al final de la década, pero aparecieron también numerosas barreras que impedían el desarrollo de la cogeneración, de las cuales se pueden citar las siguientes:

1. Los bajos precios de adquisición de la electricidad cogeneradas ofrecidos por las compañías eléctricas.
2. Las elevadas tarifas a los cogeneradores para el suministro de potencia de emergencia o potencia suplementaria.
3. La preocupación existente por el riesgo de que las instalaciones de cogeneración se sometieran a la reglamentación de las distribuidoras de energía.

Todas estas barreras lograron, a principios de la década de los setenta el desmantelamiento prácticamente total de las instalaciones de energía. Se inició una carrera para la puesta en marcha de un elevado número de proyectos de cogeneración y de aprovechamiento de pequeños saltos hidráulicos; promovió el desarrollo de las denominadas granjas eólicas y en general, suscitó el interés de los proyectos de energías alternativas. [1]

En Cuba particularmente, la cogeneración se ha utilizado en la producción azucarera desde fines del siglo XIX y principios del XX. En esa época se produjo la sustitución masiva del suministro energético basado en el bagazo y la tracción animal o esclava, por instalaciones de cogeneración a base de la combustión del bagazo, pero generando potencia mecánica para la molienda y luego energía eléctrica, utilizando el escape de las máquinas de vapor para satisfacer las necesidades de la cocción del jugo. [2]

1.3- Cogeneración.

La cogeneración se define como la producción conjunta, en proceso secuencial de electricidad (o energía mecánica) y energía térmica útil, a partir de la misma fuente primaria. Es precisamente este aprovechamiento de la energía térmica lo que hace posible un rendimiento global en la utilización de la energía muy elevado y a su vez un ahorro de energía primaria. Se admite como alternativa a la producción de electricidad la generación de energía mecánica, para el accionamiento de compresores, bombas, etc. En los sistemas de cogeneración, se

aprovecha hasta el 84% de la energía contenida en el combustible para la generación de energía eléctrica y calor a proceso (25-30% eléctrico y 59-54% térmico). [1]

Una instalación de cogeneración es la que produce secuencialmente potencia eléctrica o mecánica y calor (varios servicios) con una misma fuente primaria de energía. Recibe también el nombre de producción combinada de potencia y calor (CHP por las siglas de su denominación en inglés: Combined Heat and Power). En ocasiones se considera erróneamente *cogeneración* como la venta de energía eléctrica al Sistema Electroenergético Nacional, aunque con frecuencia la cogeneración está efectivamente acompañada de una entrega de excedentes a otros usuarios.

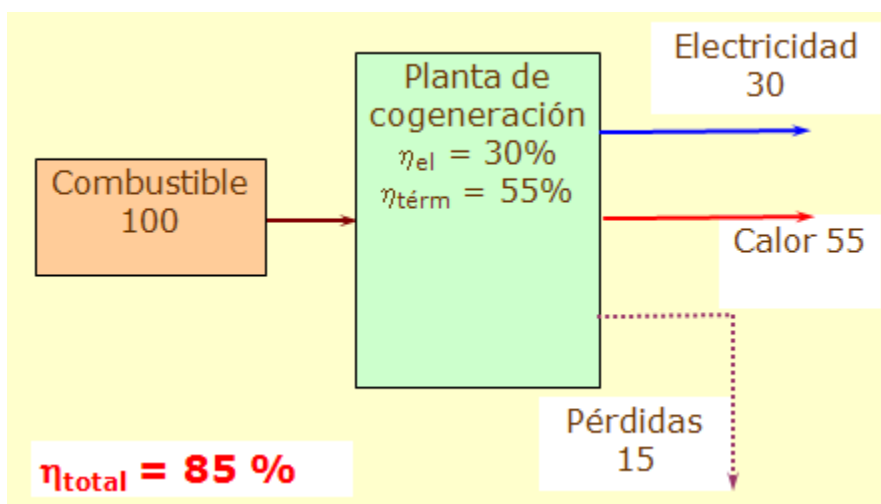


Fig. 1.2: Generación combinada de potencia y calor.

Es imprescindible que se obtenga más de un servicio energético final: se debe producir, además, calor o refrigeración utilizando una sola fuente primaria. En caso de que la instalación produzca además de potencia y calor, también refrigeración, se denomina esquema de *trigeneración*. [2, 3]

1.3.1- Ventajas y desventajas de los sistemas de cogeneración.

Ventajas:

1. Mayor diversificación energética, debido a que la cogeneración permite aprovechar calores residuales y combustibles derivados del proceso.
2. Ahorro económico.
3. Mejora de la competitividad.

Desventajas:

1. Elevados costes iniciales en el sistema de cogeneración.
2. Servicio de mantenimiento especializado.[2, 3]
3. Aumento de la contaminación local como consecuencia del mayor consumo de combustibles. [1]

1.4- Impacto de los sistemas de la cogeneración en sector industrial y a nivel de país.

La cogeneración tiene implícitos beneficios a nivel de país como en sector industrial, desde el punto de vista país, se refleja en un ahorro de la energía primaria, petróleo, gas natural, carbón mineral y biomasa, al hacer un uso más eficiente de los portadores energéticos. Asimismo, se reducen las emisiones contaminantes al medio ambiente por quemar menos combustible.

Los beneficios en el sector industrial son la reducción de la facturación energética en los costos de producción y como consecuencia aumenta la competitividad de la empresa; así como la autosuficiencia, continuidad y calidad del suministro de energía eléctrica, con lo que obtiene confiabilidad en su proceso. [4]

1.5- Tecnologías utilizadas en los sistemas de cogeneración.

Son conocidos diversos dispositivos que permiten la cogeneración, siendo los más conocidos y utilizados las turbinas y máquinas alternativas de vapor, las turbinas de gas y los motores alternativos de combustión interna. En los últimos años se han desarrollado o se encuentran en proceso otros esquemas que permiten ampliar las posibilidades de elección, entre ellos los motores Stirling de combustión externa, los ciclos de vapor con fluidos orgánicos y las pilas o celdas de combustibles. Así mismo, existe una amplia gama de dispositivos comerciales para el aprovechamiento de la energía residual en los sistemas de generación de potencia entre los cuales vale destacar las calderas de recuperación de calor para producir vapor o agua caliente y las instalaciones de refrigeración por absorción, que han posibilitado la trigeneración, a partir de la energía térmica directamente, con poco o ningún consumo de potencia mecánica o eléctrica. En el mundo se va imponiendo cada vez con mayor fuerza la aplicación de la cogeneración en actividades no productivas o de servicios, en particular las relacionadas con los sectores turístico, de salud, educacional y comercial, por lo regular grandes consumidores de portadores energéticos para la obtención de servicios energéticos encaminados al bienestar, rendimiento productivo y efectividad de los seres humanos. Entre las tecnologías más utilizadas se encuentran [4]:

1.5.1- Máquinas y turbinas de vapor.

Los primeros dispositivos de generación comercial de energía eléctrica a finales del siglo XIX trabajaban con máquinas de vapor alternativas y casi invariablemente utilizaban el vapor de escape para otros usos, generalmente industriales, con lo cual en esencia constituían dispositivos de **cogeneración**, como en el caso de la industria azucarera, en la que se utilizaba principalmente el bagazo como combustible, en ocasiones reforzado con derivados del petróleo o carbón aprovechando el vapor de escape para la concentración y cristalización del guarapo. La máquina de vapor alternativa fue cediendo espacio a la turbina de vapor, en sus variantes de contrapresión, condensación y extracción. La principal característica de las turbinas de contrapresión es que el vapor, cuando sale de la turbina se envía directamente al proceso sin necesidad de contar con un condensador y equipo periférico, como la torre de enfriamiento. [4, 5]

1.5.2- Motores de combustión interna.

Entre los sistemas de generación descentralizada más utilizados como plantas de emergencia o como sistemas electroenergéticos, en regiones apartadas se usan desde hace tiempo los motores de combustión interna, tanto en su variante de motores de **formación externa de la mezcla** (de carburadores, mezcladores o de inyección) de gasolina, gas natural u otros combustibles, como en los de **formación interna de la mezcla**, trabajando con combustible diesel (gas oil) o destilado pesado (fuel oil).

Teniendo en cuenta que un motor de combustión interna de cualquier tipo resulta una planta en la cual las corrientes de pérdidas principales son comparativamente concentradas y por tanto fáciles de recuperar, se puede decir que son muy apropiados para la cogeneración.

Las principales corrientes de pérdidas recuperables son los gases de escape, el sistema de enfriamiento del motor, generalmente por agua y el subsistema de enfriamiento del aceite lubricante. En ciertos casos se añade el sistema de enfriamiento del turbocargador. Este calor recuperado puede ser utilizado directamente como gas de escape caliente o también como vapor generado en calderas de recuperación, o agua caliente. [4, 5]

1.5.3- Turbinas de gas.

La turbina de gas ha alcanzado un grado alto de desarrollo tecnológico a partir de su aplicación en los motores de turbopropulsión y de turborreacción aplicados a la aeronáutica y a usos militares. La eficiencia de una turbina de gas es baja debido a la alta temperatura de su gas de escape (unos 500 °C, por esta misma razón, aunque existen instalaciones de generación de

electricidad con turbinas de gas stand-alone, éstas son mucho más eficientes cuando conforman el primer paso de un **ciclo combinado**, en que la corriente de gases se utiliza para generar vapor que luego se lleva a un ciclo de vapor (Rankine) como el convencional de las plantas termoeléctricas tradicionales, tal es el caso de la planta ENERGÁS de Varadero. No debe confundirse este esquema de ciclo combinado con la cogeneración, pues aunque de manera similar se recupera el calor de escape de la turbina, este calor no se utiliza para un servicio energético separado, sino que se utiliza para producir una cantidad adicional de electricidad, con lo cual la instalación completa tiene una sola clase de producto: la electricidad y por lo tanto no se ajusta a la definición dada al inicio. [1, 6]

1.5.4- Microturbinas de gas.

Recientemente se ha desarrollado una turbina de gas de pequeño tamaño a base de dos principios básicos de funcionamiento:

1. La generación de corriente directa rectificada que luego se convierte a alterna de la frecuencia y tensión deseadas, en un dispositivo electrónico.
2. La lubricación por película de aire.

El primero hace posible prescindir de la necesidad de controlar rigurosamente la velocidad de trabajo del equipo, pues no es necesaria regular la tensión ni mantener estrictamente la frecuencia de generación. El segundo elimina las dificultades de la lubricación por aceite pues la película de aire lubricante se crea y se mantiene establemente siempre que la velocidad sea lo suficientemente alta, lo que además, contribuye a disminuir apreciablemente el tamaño del conjunto para una potencia dada.

Ambos principios contribuyen a la disminución de los costos, lo que ha hecho que se impongan de manera vertiginosa en las aplicaciones de baja potencia, y también en cierto sentido en las de grandes capacidades dada su flexibilidad en conjuntos modulares: una instalación de cogeneración reportada en una universidad norteamericana posee 80 microturbinas que dada su facilidad de parada y puesta en marcha permiten una flexibilidad total para prácticamente cualquier régimen de carga parcial. [1, 7, 8]

1.5.5- Otras tecnologías.

Motor de combustión externa tipo Stirling: Utilizable para pequeñas potencias (hasta 250 kW). Presentan altas eficiencias, baja emisión de contaminantes, poco ruido y posibilidad de utilizar diversos combustibles.

Pilas de combustible: Convierten directamente en electricidad una reacción de combustión. Presentan altas eficiencias y hacen desaparecer casi totalmente la contaminación atmosférica y acústica.

Ciclo Rankine Orgánico (ORC): Permiten la recuperación de calores residuales por debajo de 250°C, con eficiencias del orden de 20 %. [2, 9]

1.6- Potencialidades por sectores de los sistemas de cogeneración.

Las potencialidades concretas de la cogeneración dependen en gran medida de las decisiones que se tomen a partir de estudios locales en que se determinen rigurosamente las necesidades y posibilidades de la instalación objeto de estudio, así como del estado actual de su aparato de logística energética y de las actividades de utilización final de los servicios energéticos.

- **Turismo – gastronomía:** Hoteles, bases de campismo, restaurantes, instalaciones de aseguramiento.
- **Educación:** Instalaciones docentes, residencias, cocinas – comedores.
- **Salud:** Instalaciones hospitalarias y asistenciales.
- **Residencial:** Cocción, ventilación y acondicionamiento de aire, lavado, secado y planchado, aseo personal, electrónica doméstica.

1.7- Campos de aplicación de los sistemas de cogeneración.

Se aplica en plantas con necesidades térmicas (vapor, agua caliente, gases calientes, frío...) medias/altas durante un período mayor a las 5000 h/año, o bien produzca combustibles residuales o efluentes térmicos de nivel suficiente.

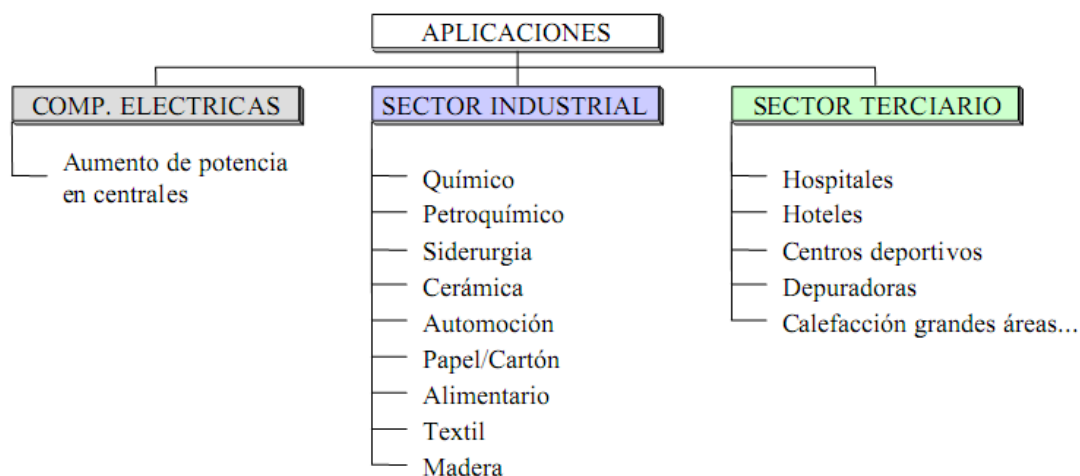


Fig.1.3: Aplicaciones de los sistemas de cogeneración

1.8- Índices de consumo.

Una manera directa y objetiva (aunque no la única) de evaluar la eficiencia energética de cualquier actividad productiva de servicios o social lo es la determinación y monitoreo de los índices de consumo de energía característicos para la actividad. Esto no siempre es simple pero constituye un importante paso de evaluación de un proyecto y de seguimiento de sus resultados.

La mayor o menor efectividad del proceso de transformación de la energía depende de la perfección del funcionamiento del equipamiento implicado, y se expresa mediante los índices de consumo, que expresan la razón entre el consumo de cierto recurso, en este caso un portador energético y el resultado perseguido expresado en una cantidad de bienes o servicios producidos. En general:

$$i_c = \frac{\text{consumo}}{\text{producto}}$$

Cuando los índices de consumo se refieren a cantidades de energía o de portadores energéticos, su valor resulta ser un valioso indicador de eficiencia energética. Y el conjunto de diferentes índices de consumo de una máquina, instalación o sistema complejo permiten describir de manera objetiva la eficiencia energética de dicho sistema.

Un ejemplo de índice de consumo de connotación para la eficiencia energética de una actividad productiva lo constituye la intensidad energética definida como el gasto de energía por unidad de valor monetario producido, y que se expresa por ejemplo en kilowatt-hora por peso de producción (kWh/peso). En un concepto más amplio, se deberán incluir todas las formas de energía que se consumen en el proceso, expresadas en una misma unidad, por ejemplo, toneladas o kilogramos de combustible convencional. En ese caso la intensidad energética podría estar expresada en: kg de combustible convencional / peso producido. [2]

1.9- Trigeneración.

Una instalación de cogeneración que produzca además de potencia y calor, efecto refrigerante, recibe el nombre de instalación de trigeneración (CCHP por las siglas de su denominación en inglés: Combined Cooling, Heat and Power). A pesar de que los sistemas destinados a ese fin son mayoritariamente accionados con energía eléctrica en forma de **ciclos de compresión de vapor** (máquinas frigoríficas, enfriadoras o chillers, splits, consolas, equipos de ventana), existe una variedad menos utilizada pero igualmente efectiva que funciona mediante calor a la que pertenecen los **sistemas de refrigeración por absorción**. En estos sistemas es posible utilizar

en lugar de potencia eléctrica, calor, que puede ser parte del calor residual de una instalación de cogeneración. En muchas de ellas siempre hay que consumir algo de electricidad, pero en una magnitud cientos de veces inferior a la que se requiere en una instalación de compresión de vapor de la misma capacidad. [3, 4, 9]

La trigeneración es la integración de una máquina de absorción en un sistema de cogeneración, para que utilizando el calor útil, produzca agua fría para refrigeración industrial o de confort (climatización).

Cogeneración + Absorción = Trigeneración

Trigeneración = Energía Eléctrica + Calefacción + Refrigeración (aire acondicionado)

1.9.1- Ventajas y desventajas de la trigeneración.

Ventajas:

- 1 Los costes de energía de un equipamiento de trigeneración son mas bajos que los de unidades convencionales; este coste se reduce en un 20/30 %.
- 2 Ofrece un alivio muy importante a la red eléctrica durante los meses de verano, ya que las cargas de refrigeración se transfieren desde la misma (máquinas de compresión), al sistema de trigeneración (máquinas de absorción).
- 3 Reduce a cero las emisiones de CO₂ utilizando gas natural y a diferencia de las enfriadoras eléctricas tradicionales que utilizan refrigerantes no respetuosos con el medio ambiente, las máquinas de absorción que utilizan agua como fluido refrigerante contribuyen a la no contaminación, pues no ataca a la capa de ozono y con ello se reduce el efecto invernadero.

Desventajas:

- 1 Altos costos de inversión.
- 2 Necesidad de utilizar personal capacitado para su operación.
- 3 Pueden llegar a ser plantas muy voluminosas. [1]

1.10- Simultaneidad de las demandas.

El proyecto tanto de un sistema de cogeneración como de un sistema de trigeneración pasa por la determinación de la dinámica de las demandas de servicios energéticos a lo largo del año, de la semana y de las horas del día, pues de ello depende la selección del equipamiento, sus capacidades y otras características que además permitirá guiar la eficiente operación del

sistema una vez construido. También deberá caracterizar la variación con el tiempo de la demanda de energía eléctrica, calentamiento y refrigeración (refrigeración propiamente dicha y climatización) tanto los valores medios como los picos de máximos y mínimos así como su frecuencia de aparición. [10]

Es imprescindible la información sobre la coincidencia en el tiempo de sus picos por el impacto directo de la simultaneidad de la generación de potencia, calor y frío, sobre la eficiencia global y el ahorro de energía primaria que puede obtenerse.

Los gráficos de demanda pueden representarse por funciones tales como:

$$W_{DEM} = W \quad (1.1)$$

$$H_{DEM} = H \quad (1.2)$$

$$C_{DEM} = C \quad (1.3)$$

Las ecuaciones anteriores relacionan las demandas de potencia (1.1), calentamiento (1.2) y enfriamiento (1.3), respectivamente.

Se puede obtener fácilmente una función auxiliar que describa el grado de coincidencia temporal de los picos de las curvas de demandas. Ejemplo de tales pueden ser las razones de las demandas de calentamiento o refrigeración a la demanda eléctrica (ecuaciones 1.4 y 1.5).

$$G = G = \frac{H(\tau)}{W(\tau)} \quad (1.4)$$

$$R = R = \frac{C(\tau)}{W(\tau)} \quad (1.5)$$

Los excedentes o déficit (valores negativos) producidos pueden ser calculados mediante:

$$\Delta W = W - W_{DEM} \quad (1.6)$$

$$\Delta H = H - H_{DEM} \quad (1.7)$$

$$\Delta C = C - C_{DEM} \quad (1.8)$$

Para un sistema interconectado con otros, se puede intercambiar electricidad y es posible operar en diferentes regímenes: satisfacción de la demanda eléctrica ($\Delta W = 0$), de la demanda de calor ($\Delta H = 0$), o de la de refrigeración ($\Delta C = 0$) del consumidor. Las demandas no satisfechas por el sistema deben suministrarse por equipamiento auxiliar. Las instalaciones no conectadas (islas) deben suministrar todas las demandas, lo cual raramente se puede conseguir con cogeneración pura. [9-11]

La elección de la capacidad requerida del equipamiento depende entre otros factores de:

1. La demanda base obtenida del análisis de los gráficos de demandas en el caso de interconexión con el Sistema Electroenergético Nacional (SEN).
2. De acuerdo con la responsabilidad que recaiga sobre el sistema para satisfacción total o parcial de las cargas para sistemas - islas. [12]

1.11- Breve caracterización del hospital.

El Hospital militar Cdte: “Manuel Pity Fajardo Rivero” está ubicado en la zona noroeste de la ciudad de Santa Clara, es el máximo organismo científico de los Servicios Médicos de las FAR en el territorio, que presta asistencia médica especializada y asistencia estomatológica a nivel primario a los pacientes militares y civiles que lo requieran. Para ello cuenta con tres salones de operación y uno de urgencias, además de las consultas y salas convenientes, con una dotación de 157 camas. Supervisa el trabajo epidemiológico en las unidades militares de manera óptima y eficiente y desarrolla además el Pre – Post grado y el trabajo del Sistema de Ciencia e Innovación Tecnológica, garantiza una buena capacidad y disposición combativa disponiendo de un cohesionado equipo de trabajo con un alto nivel científico, logrando servicios de excelencia que satisfacen de forma eficiente a pacientes, familiares y trabajadores. Cercana a esta instalación se encuentran 2 baterías de grupos electrógenos, una de emergencia a 800 metros aproximadamente y otra de carga base a 1 800 metros de distancia.

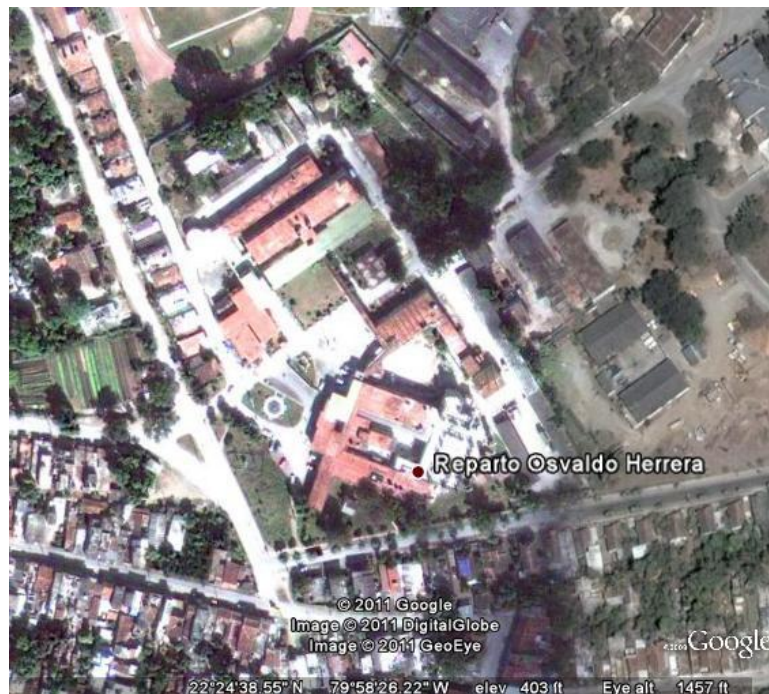


Fig 1.4 Vista superior del Hospital Cdte: “ Manuel Pity Fajardo”

Capítulo II. Caracterización de demandas y alternativas de cogeneración.

2.1- Portadores energéticos consumidos por el hospital.

El Hospital Militar Cdte: “Manuel Pity Fajardo” consume varios portadores energéticos que de una forma u otra inciden mayoritariamente en la prestación de servicios a la población. Dentro de estos portadores energéticos se pueden citar: electricidad, GLP y diesel. El gráfico siguiente muestra el comportamiento de la estructura de consumo de estos portadores durante el año 2010. Se utiliza la tonelada de combustible convencional (tcc) como medida estándar (usando los factores de conversión).

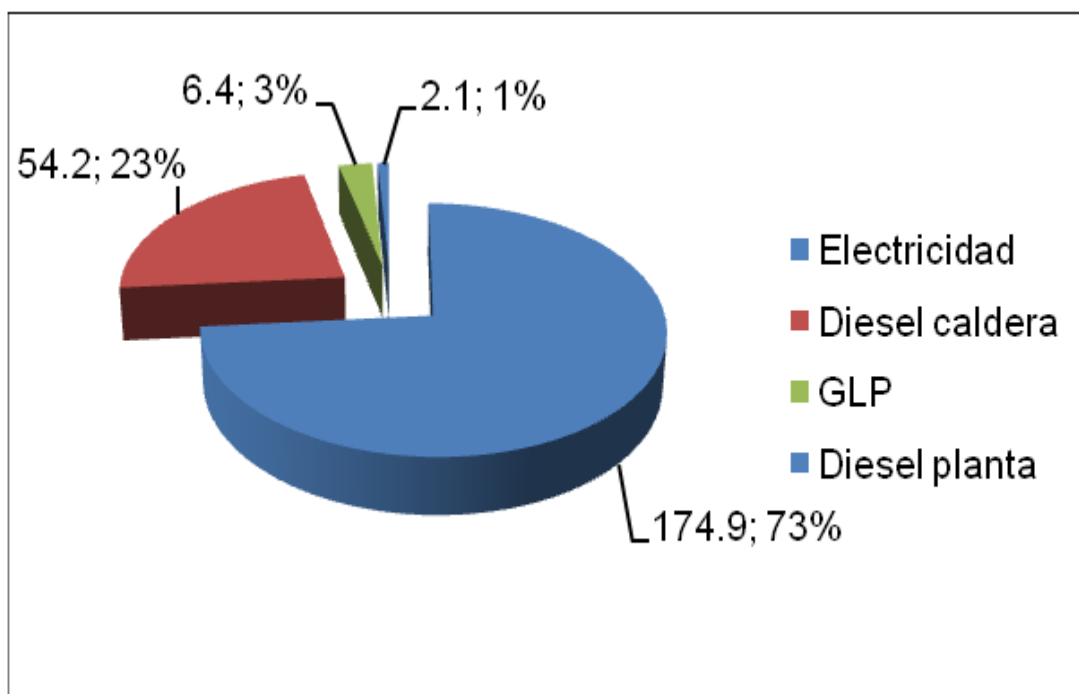


Gráfico 2.1 Comportamiento de los consumos de portadores energéticos en el 2010.

Se puede apreciar como la mayor área de consumo se refiere a la energía eléctrica y al combustible diesel, el cual se distribuye entre las calderas de vapor, los grupos electrógenos etc. El diesel para las calderas ocupa el 23 % de la energía consumida, representando 54,2 tcc, mientras que el diesel planta constituye el 1 % equivalente a 2,1 tcc, por otra parte la energía eléctrica representa el 73 % del consumo total, equivalente a 174,9 tcc y el GLP ocupa E 3 % representando 4 tcc. De las áreas estudiadas el área hospital es la de mayor consumo debido a los varios servicios que presta (Ver anexo 1), por esto se selecciona como el área central en estudio.

2.2- Estructura de los consumos de electricidad.

La Unidad Militar 9958 “Cdte: Manuel Pity Fajardo” consta de cinco metrocondatores, ubicados cada uno en áreas incluidas a dicha instalación, las cuales son: Hospital, Medicina física y rehabilitación, la Unidad Territorial de Higiene y Epidemiología (UT), el Alberque de estudiantes y Terapia, sobre esta última el personal entrevistado no tiene conocimiento de donde se encuentra ubicado su metrocontador, a pesar de que en las facturas mensuales de electricidad aparece registrado.

El gráfico siguiente muestra la estructura del consumo de energía eléctrica de las distintas áreas pertenecientes a la unidad.

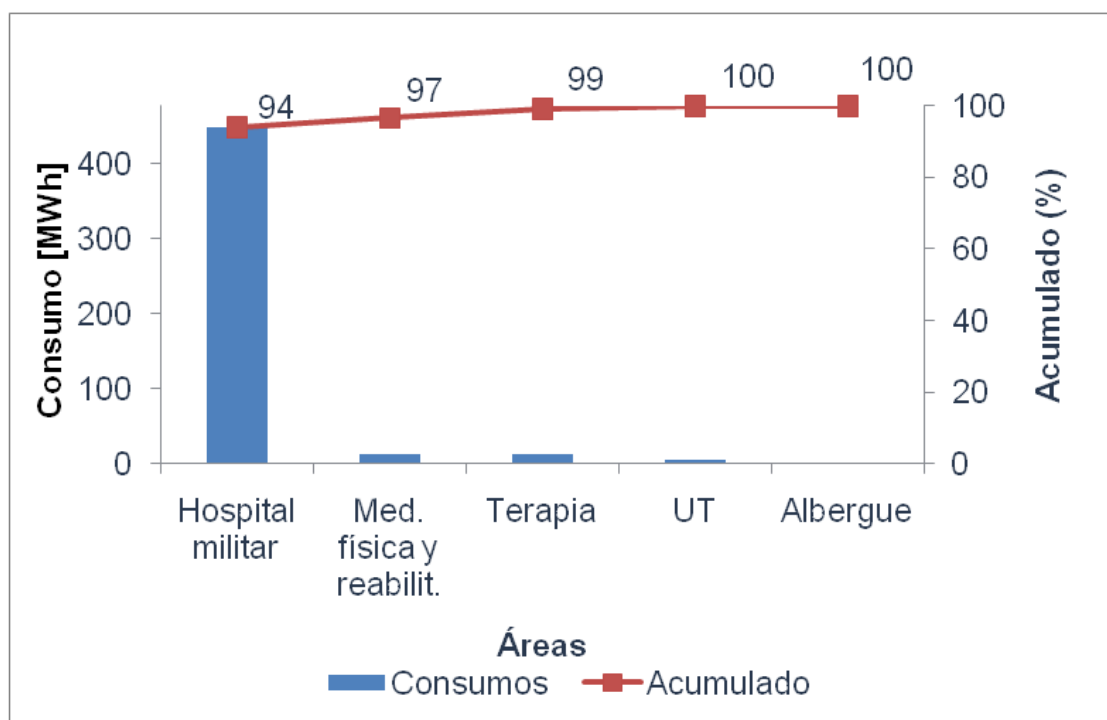


Gráfico 2.2: Estructura de los consumos de electricidad para el año 2010.

Como se puede ver el consumo del área hospital representa el 94 %, que constituyen 449 MWh, este resultado positivo (Ver Anexo 2), ya que un estudio realizado con respecto a años anteriores, revela que este consumo era mayor, pues la energía eléctrica consumida en el año 2008 representó un 98 %, es decir de un 98 % descendió a un 94 %, debido a que en el año 2009 fueron tomadas algunas medidas de ahorro energético y en el 2010 dejara de prestar servicios la lavandería, ya que contaba con tecnologías antiguas y en mal estado técnico que debían ser sustituidas (Ver anexo 3). Este proyecto se encuentra en fase de terminación,

aunque el hospital ya cuenta con una lavandería equipada con tecnología moderna de marca GIRBAU, más eficiente y de mayor capacidad, lo cual demandará una mayor potencia eléctrica y calor. De acuerdo a un estudio realizado con los datos de chapa y los datos obtenidos por los catálogos [13-16] se estima que la demanda de potencia aumente por este concepto en 5 kW, lo que representaría unos 31 MWh/año. También en estos momentos se construye una nueva sala de cuidados intensivos que en poco tiempo comenzará a prestar servicios. La misma tiene instalados varios equipos de clima con sus manejadoras de aire de marca (UNI-Aire), con una capacidad instalada de 15 TR y una potencia de 88,7 kW, esto representa un incremento de 550 MWh/año, por tanto la demanda total estimada de energía eléctrica será de 94 kW, lo equivale a 210 tcc/año.

El estudio realizado a este portador para el año anterior arrojó que la demanda contratada de energía eléctrica está muy por encima de la electricidad real consumida como se puede ver en el gráfico 2.3.

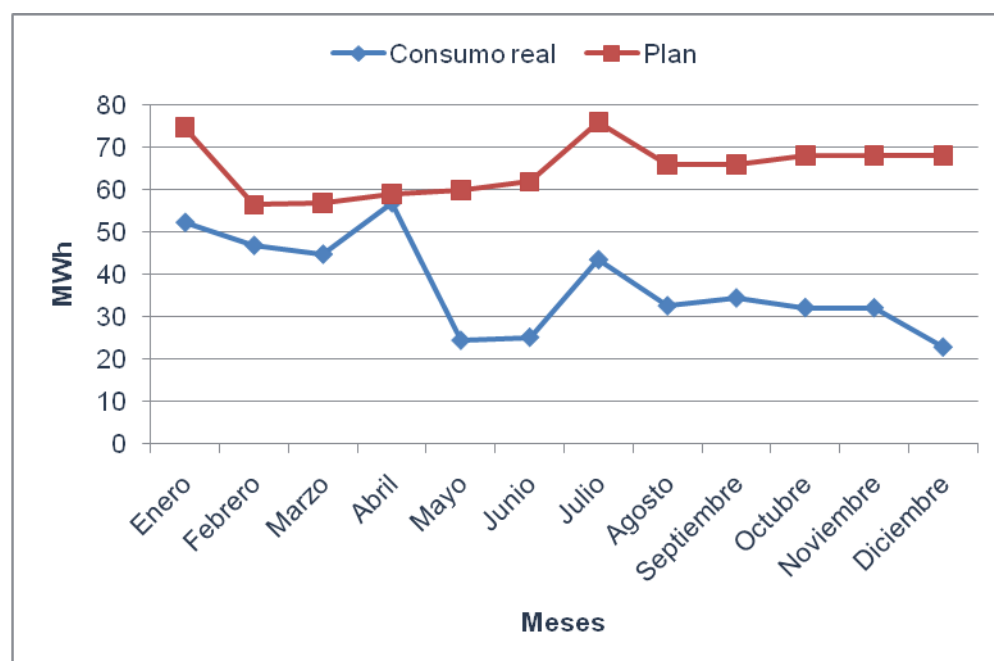


Gráfico 2.3: Consumo real de electricidad vs. Plan, 2010.

El cumplimiento del plan al cierre del año 2010 fue del 58 % (Ver anexo 4), si bien es bueno que los consumos estén por debajo de lo planificado ya que representa ahorro, esto no debe suceder con frecuencia, ni en cantidades apreciables, pues es una energía eléctrica que para su generación se necesita combustible y en este caso el estado estaría destinando un

presupuesto innecesario para su compra, pudiendo ser empleado en otras inversiones que si lo necesiten.

2.3- Estructura de los consumos de diesel para las calderas.

El combustible diesel se utiliza para alimentar las calderas de vapor, el mismo es recibido mensualmente de la pista de combustible, destinado no solo a las calderas sino también a otros servicios (grupos electrógenos, transporte, etc). El hospital cuenta con dos calderas suministradas por ALASTOR, las cuales se alternan en su funcionamiento, presentan una capacidad de producción de vapor de 1,5 t/h cada una y una presión regulada de trabajo de 13 bar, las cuales están destinadas a producir el vapor necesario para abastecer y garantizar los servicios de esterilización, cocina y lavandería, este ultimo aún no esta siendo abastecido, ya que todavía no ha comenzado a prestar servicios.

El gráfico siguiente muestra el consumo de combustible en el año 2010, el cual representó el 25% del consumo total de portadores energéticos.

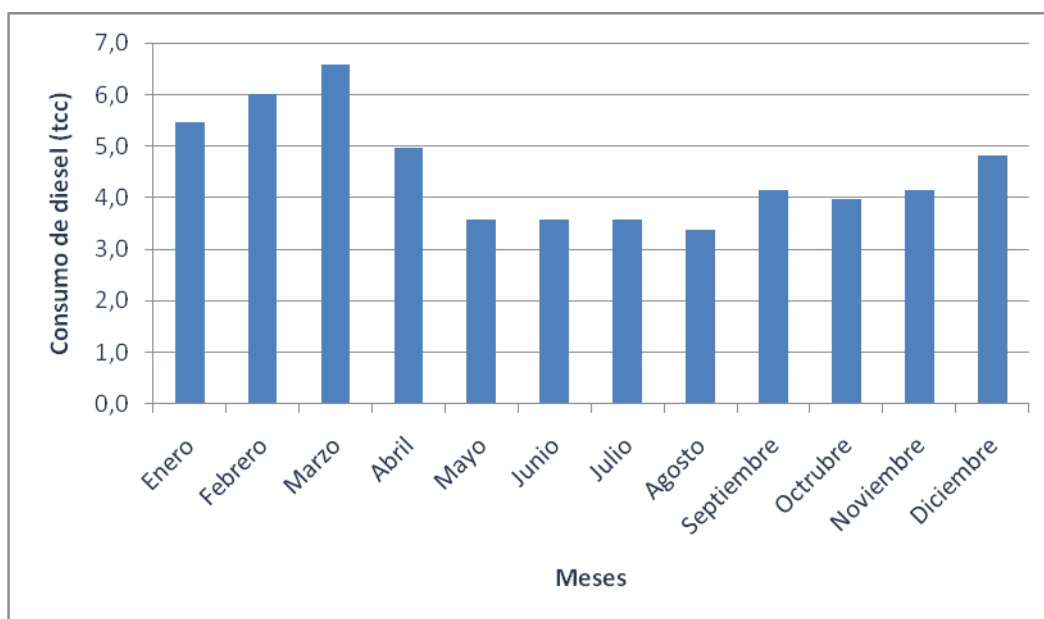


Gráfico 2.4: Consumos de diesel de las calderas para el año 2010.

El consumo total de combustible para el año 2010 fue de 36 915 L, lo que representó 54,2 tcc (Ver anexo 5). Como se puede apreciar el mayor consumo de combustible diesel se refleja tanto en los primeros meses del año como en los últimos, debido a que en ese período el clima es más frío en nuestro país, por tanto la demanda de vapor se incrementa y con esto el consumo de combustible, sin embargo en los meses intermedios se puede ver un descenso, ya

que en el mes de abril fue interrumpido el servicio de la lavandería, además estos meses comprenden la etapa vacacional y la mayoría del personal recesa sus labores durante este período.

Un análisis realizado muestra que con la puesta en marcha de la nueva lavandería el consumo de combustible se incrementará en el año actual, pues varios de los equipos allí instalados demandan vapor generado por las calderas y estas precisan del combustible para funcionar. Se estima que la demanda de calor aumente por este concepto en 210 kW y el consumo de combustible en 160 tcc/año.

2.4- Estructura de los consumos de diesel planta.

El combustible diesel es también utilizado en los grupos electrógenos con que cuenta el hospital, estos son dos; uno marca LANMAR con una potencia de 235 kW y otro SDMO de 175 kW, con un índice de consumo de 210 g/kWh, los mismos están destinados a satisfacer las necesidades requeridas por el hospital en cuanto a energía eléctrica en caso de avería o interrupción del servicio eléctrico suministrado por el SEN. El gráfico que se muestra a continuación refleja el comportamiento del consumo de combustible en el año 2010.

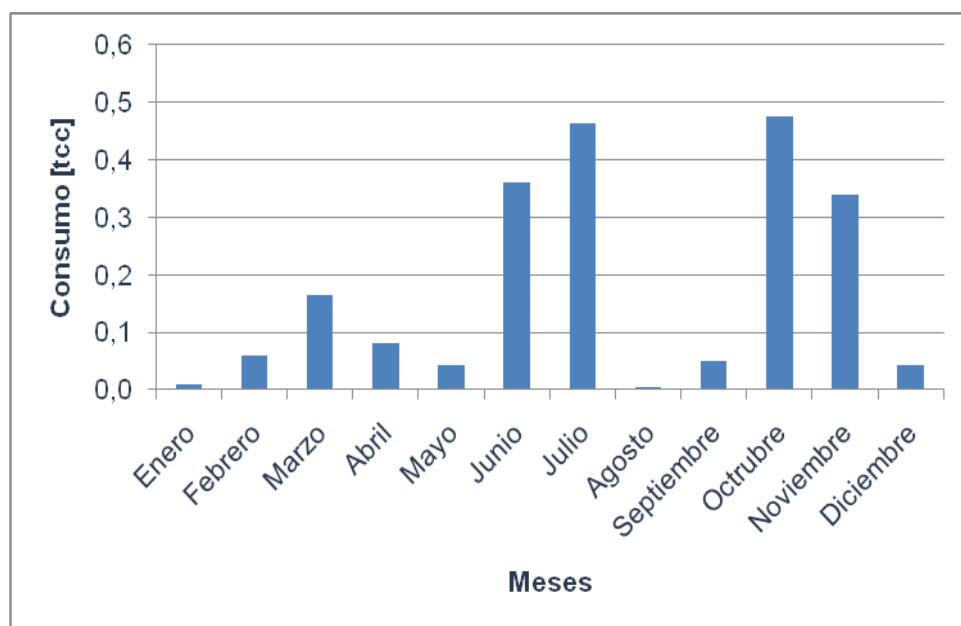


Gráfico 2.5: Consumos de diesel planta para el 2010.

Se puede ver como el consumo es irregular pues su comportamiento depende del suministro y estabilidad con que trabaje el SEN. (Ver anexo 6).

2.5- Estructura de los consumos de GLP.

En el hospital se consume el GLP a granel y el GLP en cilindro, el cual es recibido de la pista de combustible 1729 por la transferencia SRM119. El gráfico 2.5 muestra los consumos mensuales de este portador.

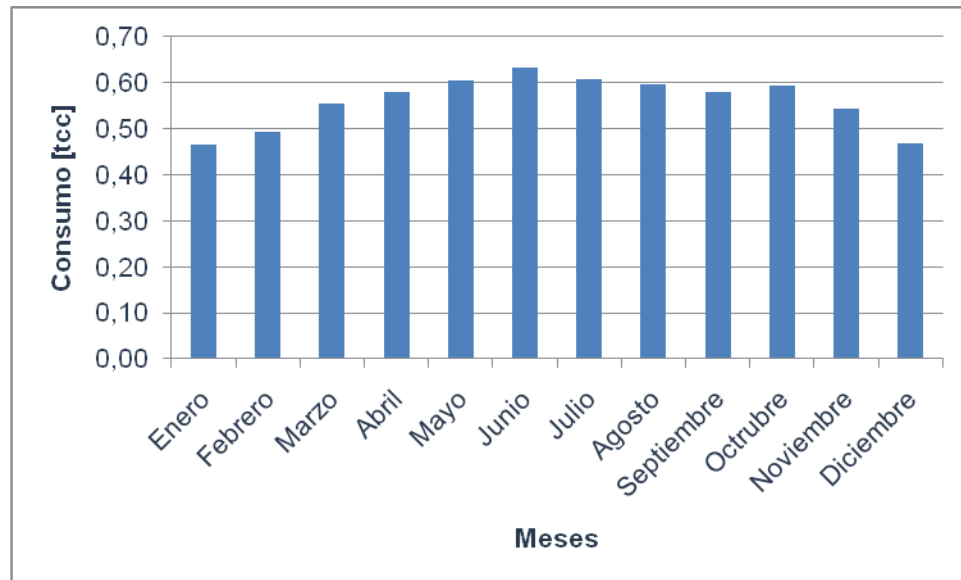


Gráfico 2.6: Consumos de GLP, año 2010.

El GLP en cilindro es utilizado para abastecer servicios tales como los que brindan los laboratorios de microbiología, patología, además de prótesis, mientras que el a granel es utilizado en la cocina, el comedor y los pantry existentes en cada área. Según el gráfico anterior el GLP mantiene un comportamiento estable, con un promedio mensual de 0,56 tcc. (Ver anexo 7).

2.6- Índices globales.

La siguiente tabla muestra el por ciento de ocupación de las camas del hospital, así como un resumen de los consumos, costos y los índices de consumo para los portadores energéticos analizados en el año 2010.

Tabla 2.1 Por ciento de ocupación de las camas en rotación.

Total de camas en rotación	157
Total de días paciente	34 262
Días paciente por cama	218,23
Por ciento de ocupación	59,8 %

Tabla 2.2 Resumen de los consumos de los principales portadores energéticos utilizados en el hospital para el año 2010.

Energía eléctrica	Valor	Índice	Unidad
<i>kWh</i>	477 769,00	13,94	kWh/d-p
<i>tcc</i>	174,9	5,10	kg/d-p
<i>Costo</i>	131 221,56	3,83	CUP/d-p
COMBUSTIBLES			
Diesel caldera			
<i>tcc</i>	54,2	1,58	kg/d-p
<i>Costo</i>	44 740,50	1,306	CUP/d-p
GLP			
<i>tcc</i>	7,0	0,20	kg/d-p
<i>Costo</i>	4 906,77	0,14	CUP/d-p
Diesel planta			
<i>tcc</i>	2,09	0,06	kg/d-p
<i>Costo</i>	1 729,70	0,05	CUP/d-p
TOTALES			
<i>tcc</i>	238	6,95	kg/d-p
<i>Gastos monetarios en energía</i>	182 598,53	5,33	CUP/d-p

Como se puede apreciar en la tabla 1.2 se consumieron 238 tcc, ocasionando emisiones a la atmósfera de 714 toneladas de dióxido de carbono y 15 toneladas de dióxido de azufre, con un índice de 62,5 kg de CO₂ y 0,4 kg de SO₂ por días paciente. Los costos totales de portadores energéticos en el año 2010 representaron 182 miles de pesos y el índice de costo global fue de 5,33 pesos por días paciente, sin incluir los costos de los medicamentos, alimentos, consultas y otros servicios que el paciente recibe o utiliza gratuitamente.

2.7- Simultaneidad de las demandas actuales de electricidad y calor.

Para crear una nueva planta de cogeneración se hace necesario construir las curvas de las demandas de electricidad y calor de acuerdo a como se manifiestan durante las distintas horas del día. Estas curvas reflejan los puntos máximos, mínimos y medios de demanda, las cuales fueron construidas según los requerimientos de calor y electricidad para cada actividad que se realiza en el hospital.

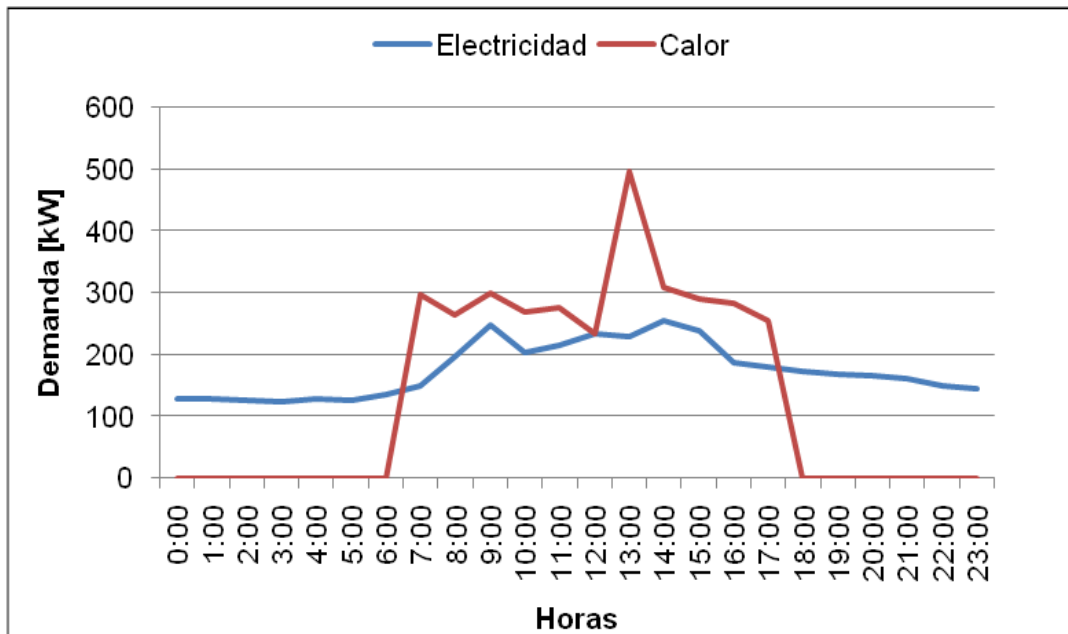


Gráfico 2.7: Simultaneidad de las demandas de electricidad y calor.

La curva de demanda de electricidad se realizó de acuerdo a las lecturas de la potencia instantánea que brinda el metrocontador digital multifuncional que se encuentra instalado en el área hospital. También se realizó la curva de demanda de calor, donde se incluye la producción de vapor destinado a la cocina y la central de esterilización. (Ver anexo 8).

2.8- Desglose de los consumos de 2010.

Tabla 2.3 Desglose de los consumos de los portadores energéticos.

Unidades	MWh	tcc	MCUP	CUP/d-p	kWh/d-p	Fracción
Energía eléctrica	478	175	131,2	3,83	13,9	73,4 %
	Exergía MWh					
Combustibles	740	63	48,2	51,4	21,6	26,6 %
<i>Diesel caldera</i>	634	54	44,7	1,31	18,5	22,8 %
<i>Diesel planta</i>	25	2	1,7	0,05	0,7	0,9 %
<i>GLP</i>	81	7	4,9	0,14	2,4	2,9 %
Total actual	1 218	238	183	5,33	35,5	100 %
Producción de calor	634	54	44,7	1,3	18,5	22,8 %

Índice aproximado de cogeneración:

- Relación calor / electricidad: 0,31

A partir de la serie de requerimientos dados anteriormente se puede decir que es provechosa la instalación de un sistema de cogeneración, el cual permita la autogeneración de energía eléctrica, manteniendo la conexión con el SEN, para así satisfacer las demandas de calor (vapor y agua caliente).

2.9- Alternativas de cogeneración.

Las alternativas de cogeneración que se analizarán en este trabajo para lograr satisfacer las demandas del hospital son las siguientes:

1. Turbina de vapor de contrapresión con aprovechamiento del vapor de escape.
2. Motores diesel con calderas de recuperación de la energía térmica del escape y del sistema de enfriamiento.
3. Turbina de gas con caldera de recuperación de la energía térmica.

2.10- Necesidades de suministro energético.

En la realización de los cálculos para el suministro energético se tuvo en cuenta la puesta en marcha de la nueva lavandería y la sala de cuidados intensivos.

Tabla 2.4 Necesidades de suministro energético.

Energía Eléctrica	1 052	MWh	172	kW
Requerimientos de calor	2 375	MWh	387	kW
<i>Combustible para vapor</i>	<i>1 953</i>	<i>MWh</i>	<i>319</i>	<i>kW</i>
<i>Combustible para agua caliente</i>	<i>336</i>	<i>MWh</i>	<i>55</i>	<i>kW</i>
<i>Otros (estimado)</i>	<i>85</i>	<i>MWh</i>	<i>14</i>	<i>kW</i>

2.10.1- Alternativa #1. Caldera con turbina de vapor a contrapresión.

Esta alternativa hace factible el suministro local de vapor y energía eléctrica mediante una caldera de recuperación a una presión moderadamente alta y un turbogenerador impulsado por una turbina de contrapresión, también nos permite la utilización del vapor de escape para varios usos de temperatura moderada, vapor para otros servicios y calor para agua caliente.

Tabla 2.5 Resultados de la A1:

Vapor de entrada a la turbina

Presión	3	MPa _{abs}
Temperatura (saturado)	233,9	°C
Entalpía	2 804,2	kJ/kg
Entropía	6,1869	kJ/kg K

Vapor de escape

Contrapresión	200	kPa _{abs}
---------------	-----	--------------------

Expansión isentrópica

Calidad	0,832					
Entalpía	2 336,8	kJ/kg				
Entropía	6,1869	kJ/kg K				
Temperatura (saturado)	120,23	°C				
Eficiencia interna	0,8					
Eficiencia del generador eléctrico	0,92					
Trabajo ideal	467,4	kJ/kg				
Trabajo real	373,9	kJ/kg				
Calidad (real)	0,8745					
Entalpía (real)	2 430,3	kJ/kg				
Entropía (real)	6,4246	kJ/kg K				
Flujo total de vapor	0,50	kg/s	1,80	t/h		
Consumo de combustible	0,150	t/h	920	t/año		
Potencia real del turbogenerador	172	kW _e	1055	MW _e h/año	132	MUSD/año
Potencia eléctrica requerida	176	kW _e	1076	MW _e h/año	135	MUSD/año
Fracción de los requerimientos de energía eléctrica	98	%				
Entrega al SEN	-4	kW _e	-22	MW _e h/año	-3	MUSD/año
Consumo específico de combustible	872	g/kWh				
Consumo anual de combustible convencional	<i>Fuel oil</i>	E. Eléct.	GLP y Diesel	Totales		
Propuesta	920	8	2	930		
2010 ajustado a 5% de crecimiento y 20% de satisfacción	0	394	226	620		
Ahorro en combustible	-920	386	224	- 309	-115	MUSD/año
Ahorro en MUSD/año	-578	243	221	Total	- 118	MUSD/año

Conclusión preliminar de la A1:

Con esta alternativa es posible satisfacer la demanda de calor para el calentamiento de agua (55 kW_t) y vapor para otros usos (219 kW_t). También nos permite abastecer en un 98 % la demanda de energía eléctrica la cual es de 176 kW_e. En esta alternativa se consumen 309 tcc/año en comparación con lo que fue consumido en el año 2010, representando gastos totales de 118 MUSD/año, por tanto la misma no es factible económicamente.

2.10.2- Alternativa #2. Motor alternativo de combustión interna (MACI) con aprovechamiento de los gases de escape y calor de enfriamiento.

Esta alternativa consiste en instalar a las plantas diesel calderas recuperadoras del calor del sistema de enfriamiento y de los gases de escape, para generar vapor con el objetivo de satisfacer las demandas de calor.

Tabla 2.6 Resultados de la A2:

Potencia del motor

Potencia eléctrica	176	kW _e				
LANMAR	235	kW _e	Índice de consumo	0,200	kg/kWh	
SDMO	135	kW _e				
Régimen de carga recomendada	85	%				
Potencia total disponible	349	kW _e	2137	MW _e h/año	267	MUSD/año
Consumo de combustible	0,070	t/h	427	t/año	421	MUSD/año

Calores aprovechables

Escape (15%)	52	kW _t				
Agua de enfriamiento (10%)	35	kW _t				
Total disponible	87	kW _t				
Potencia eléctrica requerida	176	kW _e				
Fracción de los requerimientos de energía eléctrica	199	%				
Entrega al SEN	173	kW _e	1061	MW _e h/año	133	MUSD/año
Consumo específico de combustible	200	g/kWh				
Consumo anual de combustible convencional	<i>Fuel oil</i>	E. Eléct.	GLP y Diesel	Totales		
Propuesta	66	0	429	496		
2010 ajustado a 5 % de crecimiento y 20 % de satisfacción	0	394	226	620		
Ahorro en combustible	-66	394	-203	125	6	MUSD/año
Ahorro en MUSD/año	-42	248	-200	Total	138	MUSD/año

Conclusión preliminar de la A2:

Esta alternativa permite satisfacer toda la demanda de electricidad (176 kW_e) suministrando al SEN unos 173 kW_e que representan anualmente unos 133 MUSD/año. El resto de la demanda de calor para agua caliente y vapor para otros usos se satisfacen con vapores producidos en las calderas existentes, además los ahorros de combustible son de 125 tcc/año que equivalen a un 20 % del consumo generado en el 2010, y a pesar del alto precio del diesel, esta alternativa genera ganancias anuales de 138 MUSD/año, por esto resulta factible seleccionarla.

2.10.3- Alternativa #3. Turbina de gas (TG) con recuperación del calor de escape.

Esta variante nos permite realizar un esquema con TG y caldera recuperadora de calor de los gases de escape para suministrar vapor en los usos ya anteriormente expuestos.

Tabla 2.7 Resultados de la A3:

Eficiencia de la TG (supuesta)	25%					
Flujo de combustible	0,0301	tcc/h	184	tcc/año	182	MUSD/año

Flujo de calor	319	kW _t					
Potencia de la TG	80	kW _e					
Calor disponible en el escape	207	kW _t					
Potencia eléctrica requerida	176	kW _e					
Flujo de combustible	0,0663	tcc/h	406	tcc/año	399	MUSD/año	
Flujo de calor	702	kW _t					
Calor disponible en el escape	456	kW _t					
Entrega al SEN	0	kW _e	0	MW _e h/año	0	MUSD/año	
Consumo específico de combustible	378	g/kWh					
Consumo anual de combustible convencional	<i>Fuel oil</i>	E. Eléct.	GLP y Diesel	Totales			
Propuesta	0	0	408	408			
2010 ajustado a 5% de crecimiento y 20% de satisfacción	0	394	226	620			
Ahorro en combustible	0	394	-182	212	69	MUSD/año	
Ahorro en MUSD/año	0	248	-179	Total	69	MUSD/año	

Conclusión preliminar de la A3:

Con esta alternativa es posible satisfacer en un 100 % la demanda de electricidad, o sea, unos 176 kW_e. Esta variante permite satisfacer además la demanda de calor para agua caliente (55 kW_t), y la demanda de vapor para otros usos (219 kW_t) en toda su totalidad. Con esta alternativa es posible ahorrar el 34 % del combustible consumido en el 2010, lo que representa un ahorro de 212 tcc/año y un ahorro mínimo de 69 MUSD/año.

2.11- Resumen de los resultados obtenidos

La tabla 2.8 muestra los principales resultados que se obtienen para cada una de las alternativas de cogeneración.

Tabla 2.8 Resultados fundamentales de las alternativas de cogeneración.

Parámetro	A1	A2	A3
Calor disponible [kW _t]	274	87	456
Energía eléctrica producida [kW _e]	172	349	176
Fracción de los requerimientos [%]	98	199	60
Entrega al SEN [kW _e]	-4	173	0
Consumo total de combustible [tcc/año]	930	496	408

Ahorro de combustible [tcc/año]	-309	125	212
Fracción de ahorro respecto a 2010 [%]	-50	20	34
Ahorro total [MUSD/año]	-118	138	69

Analizando la tabla anterior se puede decir que la variante A2 es la que mayores ahorros genera con 138 MUSD/año, debido fundamentalmente a la exportación al SEN de la electricidad excedente, sin embargo no es la más segura, ya que el por ciento de ahorro es bajo, pues representa el 20 % y el combustible principal consumido (diesel) es costoso, por lo que la convierte en una alternativa vulnerable ante los cambios de este precio en el mercado mundial, pero presenta una ventaja y es que los grupos electrógenos ya se encuentran instalados, por tanto no se hace necesario invertir en la compra de los mismos. Por otra parte la variante A3 genera ahorros monetarios de 69 MUSD/año, valor inferior al de la variante anteriormente comentada pero logra mayores por cientos de ahorro de combustible, los cuales son del 34 % con respecto al 2010, lo que constituye que sea una variante más segura ante las tendencias de los precios de los combustibles al aumento, consumiendo menores cantidades de los mismos con respecto a la variante anterior. El ahorro de combustible logrado con esta alternativa también hace posible reducir las cantidades emitidas de gases contaminantes, lo cual es un factor determinante a la hora de seleccionar algunas de estas variantes.

Capítulo III. Valoración económica, medioambiental y análisis de resultados.

Este capítulo tratará sobre el estudio de la valoración económica y el efecto medioambiental que puedan ocasionar las nuevas alternativas que han sido propuestas, así podremos determinar la variante más ventajosa a partir de los criterios de satisfacción y recuperación de la inversión.

3.1- Valoración económica del sistema actual.

Anteriormente fueron expuestos los principales consumos de los portadores energéticos utilizados en el año 2010, dichos consumos produjeron costos, los cuales serán analizados en este capítulo. El gráfico siguiente muestra la estructura de estos costos por cada portador energético.

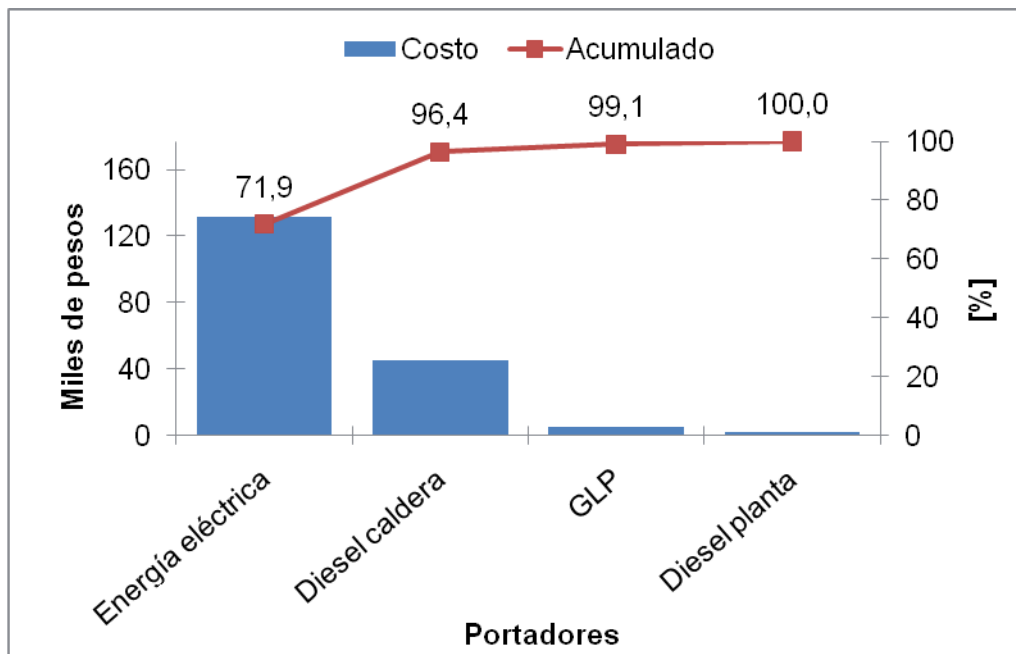


Gráfico 3.1 Estructura de costo de los portadores energéticos consumidos en el año 2010.

El gráfico 3.1 refleja como el mayor costo producido fue debido al consumo de energía eléctrica y al de combustible diesel destinado para las calderas, donde la energía eléctrica representó el 72 % del consumo, constituyendo un costo de 131,2 miles de pesos, mientras que el consumo de diesel para las calderas significó el 24 %, restándole al presupuesto del hospital un costo de 44,7 miles de pesos. El costo total generado por los portadores energéticos fue de 182,5 miles de pesos. (Ver anexo 9).

A nivel de país los costos de los portadores energéticos en comparación con los costos pagados por el hospital marcan una diferencia. Las cifras que se muestran a continuación fueron calculadas a partir de los precios de los combustibles que brinda la información económica que emite diariamente el Banco Central de Cuba [17] (Ver anexo 10). El costo del megawatt hora se toma de un estudio realizado por el Grupo de Biomasa y Sistemas Integrados de Cubaenergía, el cual es de 125 USD/MW_eh [18]. El gráfico 3.2 muestra el comportamiento de estos costos en MUSD.

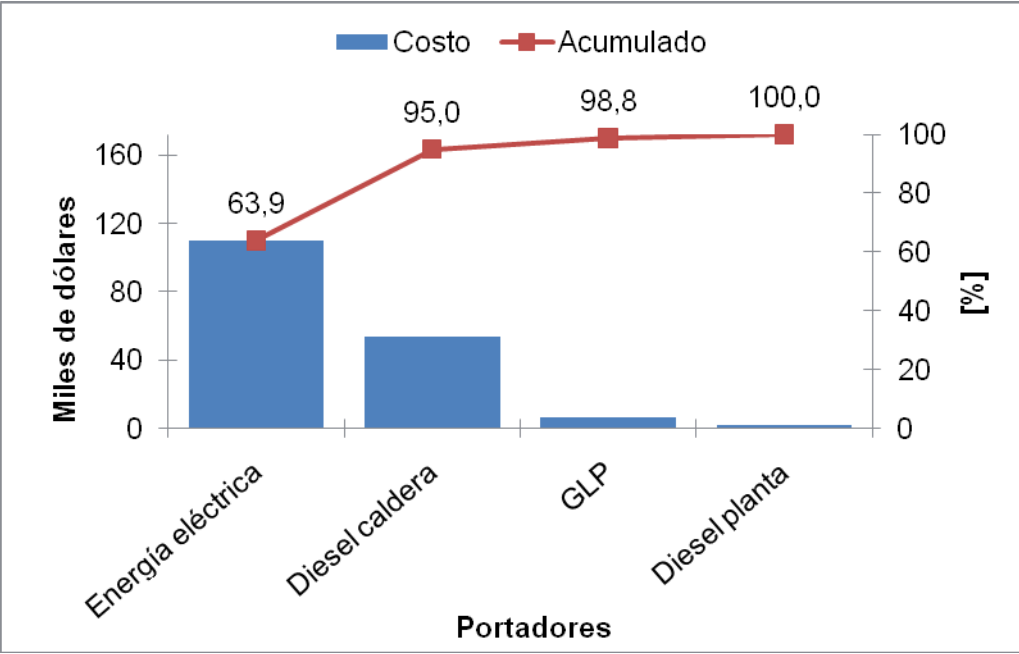


Gráfico 3.2 Estructura de costo para el país de los portadores energéticos consumidos en el año 2010.

Como se puede apreciar la energía eléctrica y el combustible diesel destinado a las calderas son los portades que representan un mayor consumo, donde la energía eléctrica constituye el 64 % equivalente a 109,9 MUSD, mientras que el 27 % lo ocupa el combustible diesel con 53,4 MUSD. El costo total a nivel de país representó 165,4 MUSD, siendo una cifra muy superior a la pagada por el hospital en moneda nacional. (Ver Anexo 11).

La tabla 3.1 muestra un resumen de los costos generados por los portadores energéticos tanto en moneda nacional (CUP) como en dólares (USD).

Tabla 3.1 Resumen de los costos de los portadores energéticos.

Portadores	Costo [MP ¹]	Costo [MUSD ²]
Energía eléctrica	131,2	109,9
Diesel Calderas	44,7	53,4
GLP	4,9	6,6
Diesel planta	1,7	2,1
Total	182,6	172,0

Como se puede ver los costos constituyen cifras considerables que podrían variar si no existiesen afectaciones como las pérdidas en el sistema de generación y uso del vapor, pues gran parte de las tuberías que lo transportan se encuentran en mal estado, sin recubrimiento, y por otra parte se desconoce la ubicación de un metrocontador, del cual se esta facturando y se esta pagando el consumo que genera.

3.2- *Análisis económico de las diferentes alternativas de suministro energético.*

La valoración económica de las distintas alternativas consiste en un análisis de prefactibilidad de las variantes que energéticamente son más factibles, para luego seleccionar la indicada. En este caso solo se analizarán las alternativas estudiadas en el capítulo II, específicamente la A2 y la A3.

3.2.1- **Suministradores de equipos, costos de inversión y mantenimiento.**

Para realizar el cálculo de prefactibilidad es necesario tener una relación de los posibles equipos a utilizar, de los cuales es necesario conocer sus capacidades, sus costos, etc. La tabla 3.2 muestra un resumen de las principales tecnologías de cogeneración a la eficiencia, el costo, la explotación y el desarrollo en la actualidad.

Tabla 3.2 Características generales y costos de algunas tecnologías de cogeneración. [19]

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

3.2.2- **Resultados obtenidos del cálculo de prefactibilidad.**

Tabla 3.3 Resumen de los resultados del cálculo de prefactibilidad.

	Alternativa A2	Alternativa A3
--	----------------	----------------

¹ Miles de pesos cubanos.

² Miles de dólares americanos.

	MACI	Microturbinas de gas
Potencia instalada [kW]	349	200
Potencia necesaria [kW]	176	176
Horas de trabajo necesarias [h/año]	6132	6132
Inversión inicial [USD/kW]	1300	750
Costo de inversión [USD]	453 700,00	150 000,00
Operación & Mantenimiento [USD/kWh]	0,01	0,01
Cantidad [unidades]	2	1
Costo total O & M [USD/año]	21 400,68	12 264,00
Energía Eléctrica producida [MWh/año]	2 137,00	1 226,40
Costo del combustible [USD/año]	421 294,26	399 237,81
Costo total operación	442 694,94	411 501,81
Tasa interés, %	15	15
Cobro anual, \$/año	553 540,26	422 764,00
Valor Actual Neto, VAN, \$	\$ 383 904,84	\$ 4 9 462,17
Tasa Interna de Retorno, TIR, %	12	4

Los resultados mostrados en la tabla 3.4 reflejan que la A2 constituye la variante de mejores resultados, pues tiene los mayores valores del VAN y el TIR. El VAN es de 384 miles de dólares, siendo positivo el saldo entre beneficios y gastos y la TIR es del 12 %, superior al 4 % de la alternativa A3, aunque el valor de la TIR debe ser superior, pues para estos cálculos se tuvo en cuenta el precio de los grupos electrógenos que ya se encuentran instalados en el hospital.

3.3- Mejoras que brindan las alternativas de suministro energético propuestas.

En este trabajo se proponen varias alternativas con el objetivo fundamental de cambiar el sistema de suministro energético actual del hospital, por un sistema más eficiente, logrando satisfacer las demandas de electricidad y calor requeridas por el mismo, para garantizar de esta manera un aumento en la calidad de los servicios prestados y con esto el bienestar del personal clínico, los pacientes y sus acompañantes en su paso por dicha institución. Dentro de estas mejoras podemos proponer la instalación de un sistema de agua caliente para el aseo de los pacientes, acompañantes y para el personal de servicio, así como para otros usos sanitarios, además de la recuperación a carga total de los servicios de lavandería y esterilización mediante la producción del vapor.

Grafico 3.3 Nivel de contaminación atmosférica de algunas ciudades cubanas. [20]

Por otro lado, el nivel de contaminación **"malo"** lo alcanzan, los asentamientos urbanos de: Santa Lucía y Nicaro y las ciudades de Camagüey, Holguín y Santa Clara, que manifiestan desarrollo industrial y a su vez son cabeceras provinciales con mayor densidad poblacional.

El nivel de contaminación **"deficiente"** se corresponde con las capitales de provincia que tienen un nivel de desarrollo industrial inferior y una densidad de población, relativamente baja como son: Pinar del Río, Sancti Spiritus, Ciego de Ávila, Las Tunas, Bayamo y Guantánamo. Otras ciudades estudiadas que tienen este nivel de contaminación son: Artemisa, San José, Cárdenas y Sagua la Grande. Estas dos últimas a pesar de no contar con una población elevada, tienen fuentes potentes de contaminación (cemento y química respectivamente), mientras que San José y Cárdenas, presentan una diversidad de industrias que provocan emisiones de contaminantes a la atmósfera en magnitudes suficientes para catalogarlas en el nivel moderado.

En nivel de contaminación **"aceptable"** se encuentran las ciudades de: Güines, Santa Cruz del Norte, Colón, Manzanillo, Nueva Gerona. Mientras que el nivel de contaminación **"bueno"** le corresponde a: Baracoa y Puerto Padre donde las afectaciones a la calidad del aire son mínimas.

3.4.1- Efecto de los contaminantes sobre la salud.

Cuando se sobrepasan las "Recomendaciones sobre Calidad del Aire" (RCA) de la Organización Mundial de Salud (OMS), se pone en riesgo la estabilidad y el bienestar saludable de los habitantes.

La contaminación atmosférica reviste gran importancia, debido a su enorme impacto directo sobre la salud humana. La mayoría de los contaminantes presentes en el aire pueden encontrar fácilmente su camino hacia la sangre, debido a que la transferencia de materia a través de la pared de los capilares pulmonares es muy poco selectiva, los gases van a penetrar en mayor o menor medida en función de su solubilidad en agua, por lo que a mayor solubilidad menor penetración ya que se quedaría retenido en la garganta o la boca, y a menor solubilidad mayor posibilidad de penetración en el organismo, los contaminantes gaseosos más importantes son el CO, los SO_x y los NO_x. [23]

El CO tiene efectos serios sobre la salud, principalmente respiratorios y cardio – vasculares. En concentraciones altas, puede causar la muerte, en tiempos de exposición relativamente cortos. Según la OMS, el nivel de COHb en la sangre de las personas expuestas a CO no

debiera superar el 2,5 %, respecto al contenido total de hemoglobina. El nivel normal de COHb es de 1,2 a 1,5 %. Cuando el nivel de COHb llega a alrededor del 5 % comienzan los efectos nocivos para la salud. Algunos estudios han demostrado que comienza a afectarse la capacidad de raciocinio a niveles de COHb comprendidos entre 3,2 y 4,2 %. Exposiciones a concentraciones de 45 mg/m³ de CO durante más de dos horas afectan la capacidad de raciocinio de una persona. La exposición a 1000 mg/m³ de CO eleva el nivel de COHb en la sangre a más del 30 % y causa un rápido incremento del pulso, lo que provoca coma y convulsiones. [23]

Los dióxidos de azufre (SO_x) son muy solubles en agua por lo que tienen poca penetración en el organismo, provocan daño en el tracto superior. Aumenta su posibilidad de penetración por transporte sobre partículas por lo que el daño también aumenta. El SO₂ produce broncoconstricción, dicho efecto aumenta con la actividad física, con la hiperventilación; al respirar aire frío y seco y en personas con hiperactividad bronquial. Los efectos combinados de distintos compuestos azufrados que se encuentran en la atmósfera producen una fuerte irritación de las vías aéreas superiores. La presencia de partículas y la elevada humedad potencian los efectos tóxicos de la mezcla, ya que el dióxido de azufre es soluble y su retención en las vías aéreas superiores restringe el impacto en los pulmones; cuando se encuentra absorbido en partículas, llega más fácilmente a los pulmones y el daño es mayor. [23]

Los óxidos de nitrógenos (NO_x) son poco solubles en agua. El NO₂ es un gas irritante que se absorbe en la membrana mucosa de las vías respiratorias y su toxicidad es cuatro veces mayor que el NO. Estos pueden formar en el organismo nitrosaminas (son molécula cancerígenas). Si llegan suficiente a la sangre se forma la metahemoglobina, donde el hierro está como Fe(3+) por lo que pierde la capacidad de transportar oxígeno produciéndose por tanto la asfixia, también se pueden producir daños en el sistema respiratorio. Los niños, los ancianos y las personas que sufren del corazón, de asma u otras enfermedades pulmonares son los grupos de mayor riesgo a la exposición del NO_x. El efecto más adverso para la salud se produce en la intersección de las vías respiratorias y la región de intercambio gaseoso de los pulmones, con una disminución de la función pulmonar. Después de la exposición al NO₂ hay presencia de ácidos nítrico y nitroso o sus sales en la sangre y en la orina. La función pulmonar se ve afectada por una exposición de 30 minutos a una concentración de NO₂ de 560 µg/m³ con ejercicio físico, de 940 µg/m³ en personas asmáticas y más de 1300 µg/m³ en una exposición

de 10 a 15 minutos en personas sanas. Se encontró que la exposición a una concentración media diaria de NO_2 de $244 \mu\text{g}/\text{m}^3$ provocaba dolores de garganta en personas adultas. [23]

3.4.2- Impacto de las alternativas de suministro energético sobre la calidad del aire en el área donde se encuentra ubicado el hospital.

Las alternativas de suministro energético propuestas contribuyen a la reducción de los consumos globales de combustibles con respecto al año 2010, sin embargo para el hospital el consumo aumenta, por tanto se hace necesario analizar el comportamiento ambiental sobre la calidad del aire al instalar una de estas variantes, y comprobar así el nivel de contaminación producido en esta área.

El gráfico siguiente muestra las emisiones estimadas de los principales gases contaminantes para cada alternativa, las cuales fueron calculadas rigiéndonos por los factores de emisión utilizados en nuestro país para el inventario nacional y absorciones de gases de efecto invernadero, (Ver anexo 12 y anexo 13).

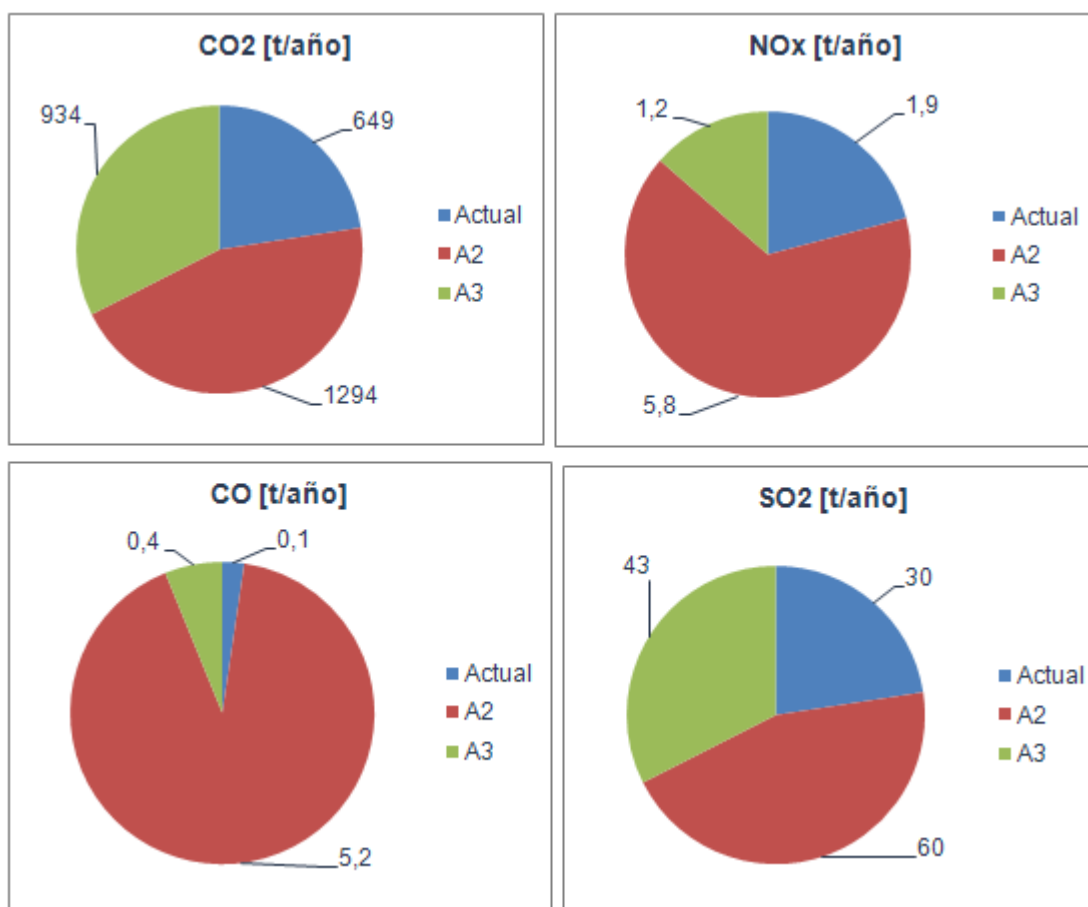


Gráfico 3.4 Emisiones locales estimadas del caso actual y las alternativas propuestas.

Como se puede apreciar la alternativa que genera una mayor cantidad de gases a la atmósfera es la A2, por lo que la A3 en comparación con esta, se convierte en la menos contaminante, sin sobrepasar por supuesto las cantidades emitidas actuales. Las emisiones estimadas para un año en funcionamiento de la alternativa A3 son de aproximadamente 934 t de CO₂, 0,4 t de CO, 1,2 t de NOx y 43 toneladas de SO₂. [23]

El gráfico 3.5 que aparece a continuación muestra las emisiones globales de gases contaminantes para las alternativas propuestas.

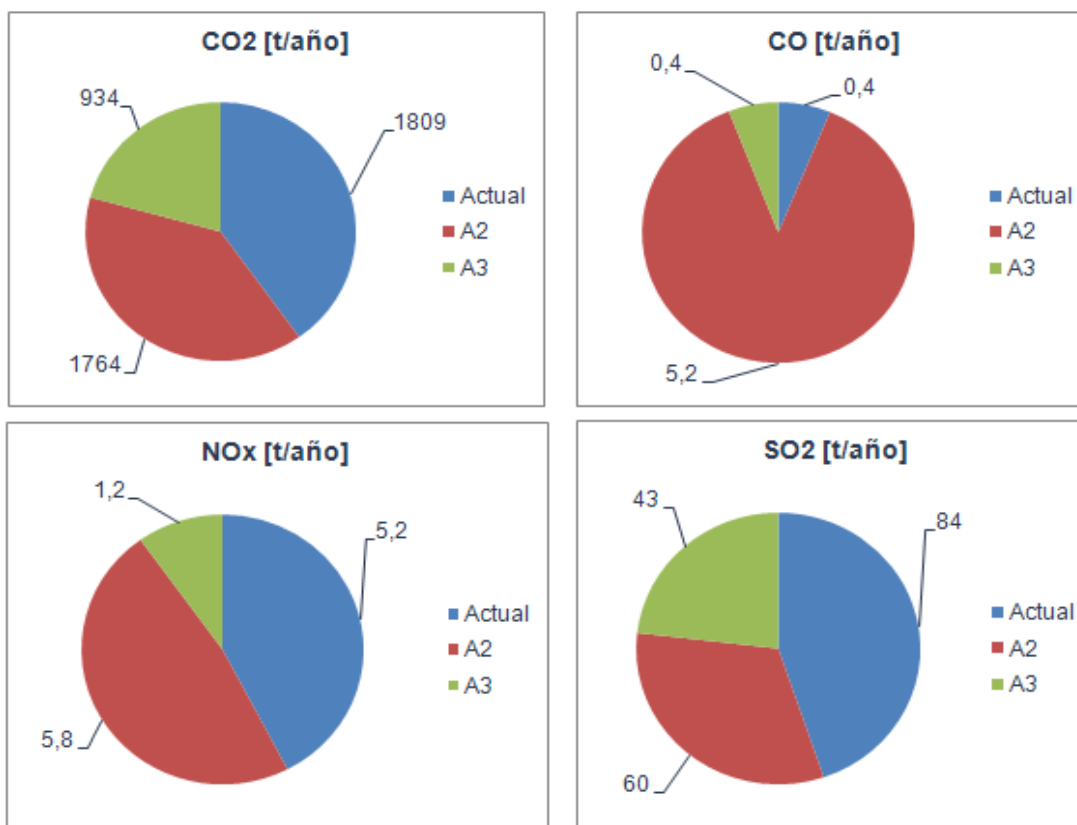


Gráfico 3.5. Emisiones globales estimadas del caso actual y las alternativas propuestas.

En el caso de la A2 las emisiones producidas en cuanto a los gases de CO y NO_x son mayores en comparación con la A3 y el caso actual, mientras que en la emisión de los otros gases su comportamiento varía, lo que hace que la A3 sea la de menor contaminación ambiental. Es preciso dejar claro que estas tecnologías propuestas traen consigo un aumento de la eficiencia y a su vez un ahorro de combustible con respecto al año anterior. (Ver Anexo 14).

3.5- Análisis y discusión de los resultados obtenidos.

Tabla 3.4 Aspectos fundamentales de comparación entre la A2 y A3

Parámetros	A2	A3
Ahorro de combustible [tcc/año]	125	212
Ahorros monetarios [MUSD/año]	138	69
Costos de inversión [MUSD]	453,7	150
Costos totales de O & M [MUSD/año]	21,4	12,2
VAN [MUSD]	383,9	49,4

TIR [%]	12	4
PRI [años]	2,5	1,7
Emisiones locales totales [ton/año]	1365	978,6
Emisiones globales totales [ton/año]	1835	978,6

El resumen que aparece en la tabla 3.6 de los principales resultados obtenidos constituye la base fundamental de la selección de una u otra alternativa. Un balance de estos resultados indica que la alternativa A2, es la más idónea, aún cuando los ahorros de combustibles no son los mayores alcanzados y las emisiones locales tampoco sean las menores, pues presenta los mayores ahorros monetarios y un menor costo de inversión, como lo refleja el valor del VAN y la TIR.

Conclusiones.

1. La caracterización de las demandas de los principales portadores energéticos en el año 2010 mostraron que la energía eléctrica fue la de mayor consumo representando el 73 % con 174,9 tcc, seguido por el combustible diesel destinado a las calderas con 54,2 tcc, luego el GLP con 7 tcc y por último el diesel planta con 2,1 tcc.
2. Del estudio realizado de las diferentes alternativas: caldera con turbina de vapor, motor alternativo de combustión interna y turbina de gas, se selecciona la de motor de combustión interna (A2) por cumplir con todos los requerimientos de electricidad y calor que demanda el hospital y por tener los mayores ahorros monetarios.
3. La alternativa seleccionada es la de mejores resultados económicos pues el VAN es de 384 miles de dólares y la TIR del 12 %

Recomendaciones.

1. Estudiar la posible instalación de equipos de limpieza de gases de la combustión para disminuir las emisiones de gases contaminantes.
2. Estudiar la posibilidad de implementar un sistema de climatización centralizada utilizando equipos de absorción.
3. Analizar si es posible la instalación de un sistema de trigeneración.

Bibliografía.

1. Sala Lizarraga, J.M., *Cogeneración. Aspectos termodinámicos, tecnológicos y económicos*. 1994, Bilbao: Servicio Editorial Universidad del País Vasco. 565.
2. Roque Díaz, P.R., *Fundamentos de la cogeneración y la trigeneración*. , in *Curso de cogeneración para decisores*. 2009.
3. Roque Díaz, P.R., *La cogeneración en el sector terciario. Perspectivas e impacto ambiental*, in *Conferencia Internacional Medio Ambiente Siglo XXI* 2011. p. 9.
4. Rubio Maya, C., *Producción combinada de electricidad, calor, frío y agua, de forma sostenible en el sector turístico*, in *Departamento de Ingeniería Mecánica Centro Politécnico Superior* Abril 2009, Universidad de Zaragoza: Zaragoza. p. 97-101.
5. Rubio Maya, C., ed. *TECNOLOGIAS MOTRIZ PRIMARIO PARA POLIGENERACIÓN* Fundación CIRCE. Proyecto POLIMED 2008. 55.
6. AAEE, *La cogeneración en el Plan Nacional de asignación de CO₂*, ed. A.D.A.D.E. ELÉCTRICA. 2003, Madrid. 7.
7. Vescovo, E., *Microturbinas Capstone. Tecnología y Aplicaciones*, in *XIII CONGRESO ANUAL NATURGAS*. 2010, Capstone Turbine Corporation: Latin America Sales & Marketing. p. 43.
8. Massagués, L., *Estudio comparativo de una instalación de trigeneración con microturbina de gas y un sistema convencional con bomba de calor en un complejo hotelero*. Departament d'Enginyeria Electrònica, Elèctrica i Automàtica E.T.S.E., Universitat Rovira i Virgili. Catalunya, España, 2007: p. 6.
9. Roque Díaz, P.B.M., J. , *Evaluación termoeconómica de un sistema complejo generalizado de trigeneración*, in *V Taller Internacional de Energía y Medio Ambiente*. 2008: Cienfuegos, 23 al 25 de Abril de 2008. p. 34.
10. Roque Díaz, P.R., *Thermoeconomic assessment of a multi-engine, multi-heat-pump CCHP (combined cooling, heating and power generation) system: A case study*. Energy. The International Journal. Science Direct, 2010. **35 (2010) 3540-3550**(9 September 2010).
11. Roque Díaz, P.R., *MATHEMATICAL METHOD FOR SIMULTANEITY ASSESSMENT OF TIME DEPENDENT ENERGY DEMAND FUNCTIONS FOR COMPLEX TRIGENERATION (CCHP) SYSTEMS*, in *22nd International Conference on Efficiency, Cost, Optimization. Simulation and Environmental Impact of Energy Systems*. 2009, Proceedings of ECOS 2009. Copyright © 2009 by ABCM: August 31 – September 3, 2009, Foz do Iguaçu, Paraná, Brazil.

12. Pablo, R.D., et al., *Evaluación termoeconómica de un sistema complejo generalizado de trigeneración*. 2003.
13. Girbau. *Lavadoras centrifugadoras*. 2007 [cited; Available from: <http://www.girbau.com>.
14. Girbau. *Plancha secadora - secadora*. 2007 [cited; Available from: <http://www.girbau.com>.
15. Girbau. *Secadores rotativos*. 2007 [cited; Available from: <http://www.girbau.com>.
16. Silc, *Macchina Industriale*. 2007, Silc FIM srl Via Campania 19-60035 Jesi (AN): Italy. p. 29.
17. BCC, *Información económica*, in Año 5, N° 205. 2011.03.28, Banco Central de Cuba: La Habana.
18. Cubaenergía. *Análisis comparativo de los costos de generación de electricidad con tecnologías seleccionadas de energía renovable*. 2010 [cited; Available from: http://www.cubaenergia.cu/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=285&Itemid=58.
19. Teyra, M.A.d.A., A.B. Nordelo, and I.A. Pérez. *La generación descentralizada. Nexos entre la generación descentralizada y las fuentes renovables de energía*. 2010 [cited].
20. Normalización, O.N.d., *Calidad del aire. Emisiones máximas admisibles de contaminantes a la atmosfera en fuentes fijas del sector de la energía*, in NC 55:2008. 2008.
21. Normalización, O.N.d., *Calidad del aire. Requisitos higiénico-sanitarios*, in NC 39: 1999. 1999. p. 90.
22. Normalización, O.N.d., *Calidad del aire. Emisiones máximas admisibles de contaminantes a la atmósfera en fuentes fijas puntuales de instalaciones generadores de electricidad y vapor*, in NC TS 803: 2010. 2010. p. 19.
23. Leyva Céspedes, A., *Evaluación termoenergética y del impacto sobre la calidad del aire del sistema de generación de vapor del Hospital Arnaldo Milián Castro de Santa Clara*, in *Centro de Estudios de Energías y Tecnologías Ambientales (CEETA)*. 2005, Universidad Marta Abreu de Las Villas. Facultad de Ingeniería Mecánica: Santa Clara. p. 51.

Anexos.

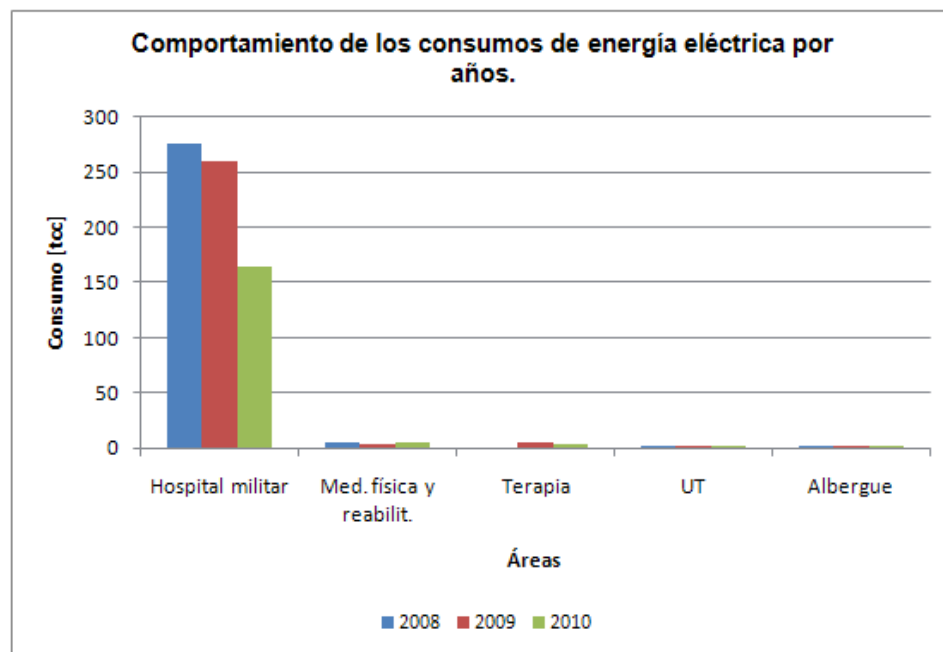
Anexo 1. Comportamiento de los consumos de portadores energéticos en el 2010.

Portadores	tcc	Costo [MP]	Costo [USD]
Electricidad	174,9	131 221,56	109.874,24
Diesel caldera	54,2	44 740,50	53 413,11
GLP	6,7	4 906,77	6 600,08
Diesel planta	2,1	1 729,70	2 064,99
Total General	237,9	182 598,53	171 952,42

Anexo 2. Estructura de los consumos de electricidad para el año 2010.

Áreas	Consumo [MWh]	Fracción [%]	Acumulado [%]
Hospital militar	448,50	94,0	94,0
Med. Física y rehabilit.	12,25	2,6	96,5
Terapia	12,16	2,5	99,1
UT	4,13	0,9	99,9
Albergue	0,26	0,1	100,0
TOTAL	477,31		

Anexo 3. Comportamiento de los consumos de electricidad para las áreas analizadas por años.



Anexo 4. Consumo real de electricidad vs. Plan, 2010.

Consumo total Real [MWh]	Plan mensual [MWh]	Diferencia [MWh]	Cumplimiento del Plan [%]
52,32	74,80	22,48	69,95
46,88	56,50	9,62	82,97
44,80	57,00	12,20	78,60
56,93	59,00	2,07	96,50
24,48	60,00	35,52	40,80
25,20	62,00	36,80	40,65
43,52	76,00	32,48	57,26
32,64	66,00	33,36	49,45
34,49	66,00	31,51	52,26
32,20	68,20	36,00	47,21
32,16	68,20	36,04	47,16
22,88	68,20	45,32	33,55
448,50	781,90		58,03

Anexo 5. Consumos de diesel de las calderas para el año 2010.

Meses	Consumo diesel [L]	Consumo diesel [tcc]	Costo [\$]	Costo [USD]
Enero	6435	5,5	4504,50	5377,66
Febrero	7075	6,0	4952,50	5912,50
Marzo	7772	6,6	5440,40	6494,98
Abril	5848	5,0	4093,60	4887,11
Mayo	4216	3,6	2951,20	3523,27
Junio	4225	3,6	2957,50	3530,79
Julio	4205	3,6	2943,50	3514,08
Agosto	3968	3,4	2777,60	3316,02
Septiembre	4900	4,2	3430,00	4094,88
Octubre	4695	4,0	3286,50	3923,56
Noviembre	4903	4,2	3432,10	4097,39
Diciembre	5673	4,8	3971,10	4740,87
Total	63915	54,2	44740,50	53.413,11

Anexo 6. Consumos de diesel planta para el 2010.

Meses	Consumo diesel [L]	Consumo diesel [tcc]	Costo [\$]	Costo [USD]	Horas de trabajo [min]	Energía generada [kWh]
Enero	10,5	0,01	7,35	8,77	100	683
Febrero	69	0,06	48,30	57,66	153	1046
Marzo	195,5	0,17	136,85	163,38	380	2597
Abril	95	0,08	66,50	79,39	132	902
Mayo	50	0,04	35,00	41,78	85	581
Junio	426	0,36	298,20	356,00	935	6389
Julio	548	0,46	383,60	457,96	753	5146
Agosto	5	0,00	3,50	4,18	15	103
Septiembre	59	0,05	41,30	49,31	214	1462
Octubre	562	0,48	393,40	469,66	973	6649
Noviembre	400	0,34	280,00	334,28	1640	11207
Diciembre	51	0,04	35,70	42,62	125	854
Total	2471	2,1	1729,70	2.064,99	5.505,00	37.617,50

Anexo 7. Consumos de GLP, año 2010.

Meses	Consumo diesel [L]	Consumo diesel [tcc]	Costo [\$]	Costo [USD]
Enero	852	0,47	340,80	458,41
Febrero	900	0,49	360,00	484,24
Marzo	1012	0,55	404,80	544,50
Abril	1058	0,58	423,20	569,25
Mayo	1104	0,60	441,60	594,00
Junio	1153,6	0,63	461,44	620,68
Julio	1110,71	0,61	444,28	597,61
Agosto	1091,4	0,60	436,56	587,22
Septiembre	1056,93	0,58	422,77	568,67
Octubre	1084,7	0,59	433,88	583,61
Noviembre	990,8	0,54	396,32	533,09
Diciembre	852,78	0,47	341,11	458,83
Total	12266,9	6,72	4906,77	6600,08
		0,56		

Anexo 8. Simultaneidad de las demandas de electricidad y calor.

Energía Eléctrica

Horas	Demanda [kW]	Demanda incrementada [kW]	Calor [kW]	Calor incrementada [kW]
0:00	40,2	128,9	0	0
1:00	39,5	128,2	0	0
2:00	36,4	125,1	0	0
3:00	35,2	123,9	0	0
4:00	40	128,7	0	0
5:00	38,6	127,3	0	0
6:00	46,8	135,5	0	0
7:00	61,5	150,2	86,92	296,92
8:00	103	196,7	55,71	265,71
9:00	154,7	248,4	91,07	301,07
10:00	110,02	203,72	60,36	270,36
11:00	120,1	213,8	66,89	276,89
12:00	140,1	233,8	24,64	234,64
13:00	141,2	229,9	287,49	497,49
14:00	160,9	254,6	100,38	310,38
15:00	144,4	238,1	80,08	290,08
16:00	94	187,7	75,06	285,06
17:00	92	180,7	46,08	256,08
18:00	85	173,7	0	0
19:00	80	168,7	0	0
20:00	76,5	165,2	0	0
21:00	73,1	161,8	0	0
22:00	60,9	149,6	0	0
23:00	56,4	145,1	0	0
Media	84,6	175,0		

Anexo 9. Estructura de costo de los protadores energéticos consumidos en el año 2010.

Portadores	tcc	Fracción [%]	Acumulado [%]	Costo [MP]	Fracción [%]	Acumulado [%]
Electricidad	174,9	73,4	73,4	131.221,56	71,9	71,9
Diesel caldera	54,2	22,8	22,8	44.740,50	24,5	96,4
GLP	7,0	2,9	2,9	4.906,77	2,7	99,1
Diesel planta	2,1	0,9	0,9	1.729,70	0,9	100,0
Total General	238,1	100,00		182.598,53	100,0	

Anexo 10. Resumen de la información económica del Banco Central de Cuba. Día 28 de marzo de 2011.

Información económica. No. 205. Año 5

Portador	USD/t
Fuel	634,69
Diesel	936,10
Jet fuel/Costa Golfo U.S.A.	1056,46
Jet fuel/Mediterráneo	1067,47
Gasolina	1052,18
Gas licuado (GLP)	844,74

Anexo 11. Estructura de costo para el país de los portadores energéticos consumidos en el año 2010.

Portadores	Costo [MUSD]	Fracción [%]	Acumulado [%]
Energía eléctrica	109,87	63,9	63,9
Diesel caldera	53,41	31,1	95,0
GLP	6,60	3,8	98,8
Diesel planta	2,06	1,2	100,0
Total General	172,0	100,0	

Anexo 12. Factores de emisión empleados en Cuba para el Inventario Nacional de Emisiones y Absorciones de Gases con Efecto Invernadero (INEA-GEI). Año 1998.

Factores de emisión, g/kg	
CO₂	2 945
SO₂	136
NO_x	8,4
CO	0,6

Anexo 13. Emisiones locales estimadas del caso actual y las alternativas propuestas.

Contaminación local

Contaminantes	Alternativas		
	Actual	A2	A3
CO ₂ [t/año]	667	1294	934
CO [t/año]	0,1	5,2	0,4
NOx [t/año]	1,9	5,8	1,2
SO ₂ [t/año]	31	60	43

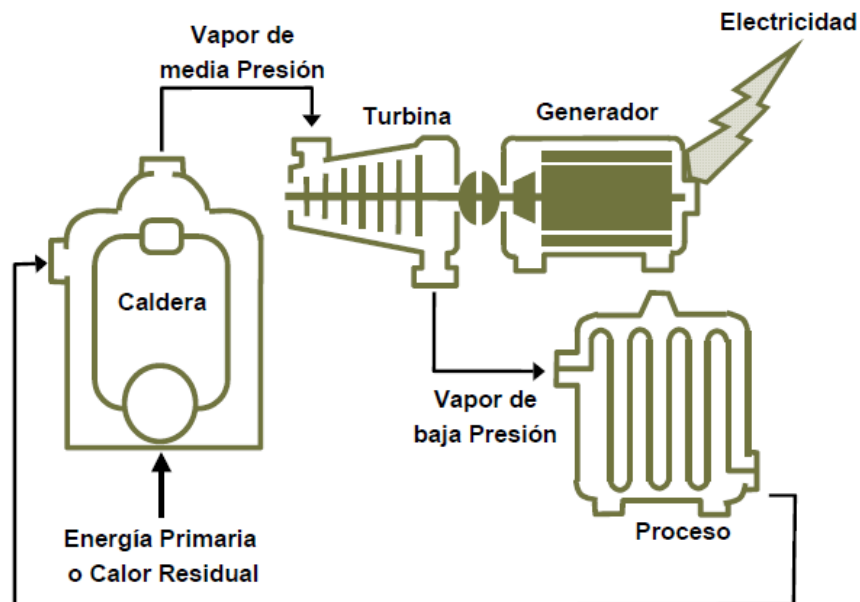
Anexo 14. Emisiones globales estimadas del caso actual y las alternativas propuestas.

Emisiones globales

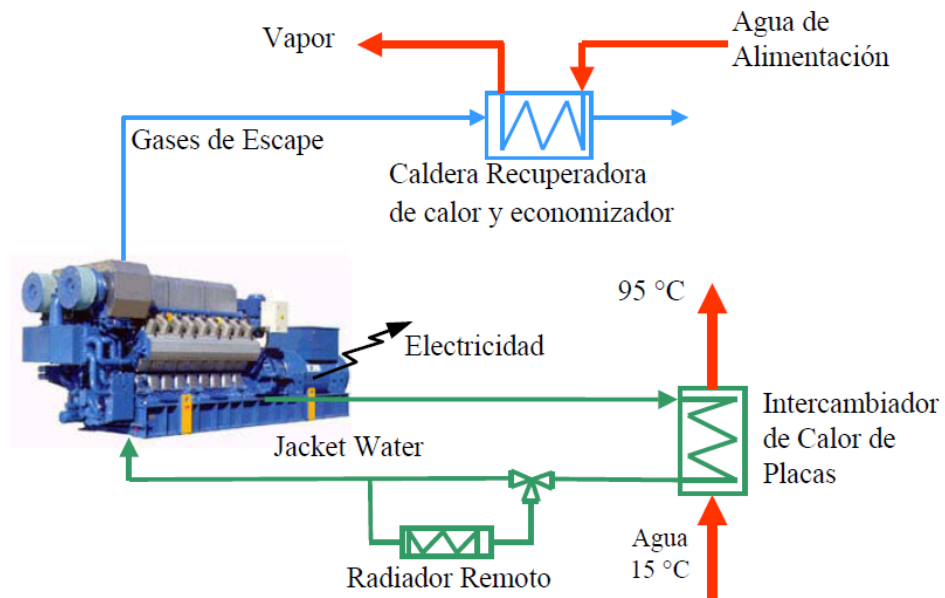
Contaminantes	Alternativas		
	Actual	A2	A3
CO ₂ [t/año]	1827	1764	934
CO [t/año]	0,4	5,2	0,4
NOx [t/año]	5,2	5,8	1,2
SO ₂ [t/año]	84	60	43

Anexo 15. Esquemas básicos de instalaciones de cogeneración.

Cogeneración con turbina de vapor



Cogeneración con motor de combustión interna.



Cogeneración con una turbina de gas.

