



República de Cuba

**Universidad de Cienfuegos “Carlos Rafael Rodríguez”
Facultad de Ingeniería**

**ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD DEL USO DE LA
TRIGENERACIÓN EN EL HOTEL VENETUR ALBA CARACAS
UBICADO EN LA CIUDAD DE CARACAS**

Tesis en opción al título de Master en Eficiencia
Energética.

Autor: M.Sc. Ing. Vivian Margarita Rodríguez García

Tutor: Dr. José Pedro Monteagudo Yanes

Venezuela, 2012



Hago constar que el presente trabajo fue realizado en la Universidad de Cienfuegos: “Carlos Rafael Rodríguez” como parte de la culminación de los estudios de la Maestría en Eficiencia Energética, autorizando a que el mismo sea utilizado por la institución para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial como total y que además no podrá ser presentado en eventos ni publicado sin la aprobación del autor.

Firma del Autor

Los abajo firmantes, certificamos que el presente trabajo ha sido realizado según acuerdos de la dirección del centro y el mismo cumple los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura, referido a la temática señalada.

Firma del tutor

Información Científico Técnica

Nombres y Apellidos

Computación

Nombres y Apellidos

AGRADECIMIENTOS

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por la vida, la salud y la oportunidad.

A mis padres, Antonio y Blanca; a mis hermanos Sissi, Nubia y Antonio, quienes me apoyan y ayudan siempre de manera incondicional.

A mí amado compañero de vida Reinaldo, por su apoyo en muchos aspectos, observaciones y cariño.

En la Fundación para el Desarrollo del Servicio Eléctrico (FUNDELEC), al Lic. Alfredo Echezuria, por haberme invitado a participar en esta maestría; al Soc. Jorge Herrera, por su apoyo y colaboración como coordinador apoyo de la maestría en Caracas, como líder en el equipo de Eficiencia Energética por el préstamo de los equipos utilizados durante el diagnóstico de recorrido y todas las veces que los hemos necesitado; al Ing. Carlos Lamus, por ayudarnos a darle carácter legal a la investigación que se realizó ante el hotel y todos los compañeros y compañeras que nos asistieron de muchas maneras.

Al equipo de Ingeniería del Hotel Venetur Alba Caracas, entre ellos el primer gerente que nos respaldó el Ing. Raúl Tovar quien fue un gran colaborador y apoyo ante los retos que se plantearon; Reinier González, Oscar Pérez y Ana Gabriela Velásquez, los integrantes del equipo que estuvieron a nuestro lado durante el diagnóstico de recorrido, mediciones de energía eléctrica, medición de áreas y ventanas, y en todas las oportunidades que los requerimos; a los supervisores y técnicos Luis Hernández, Gerson Sánchez, Gromar Cárdenas, Octavio González, Carlos Marquez, Betsabet Noguera, Rosa Moreno, y todos los demás del grupo por su apoyo.

A la Universidad Bolivariana de Venezuela (UBV) y al Centro de Estudios de la Energía por garantizarnos un espacio y equipos que permitieron el avance de las actividades relacionadas durante el desarrollo de la maestría; a su directora la Dra. Eglee Zapata, los M.Sc. Alejandro Pérez, Rosana González, los Ings. Yliane de Santolo, Jorge Blanca, y a nuestra querida compañera Ing. Rosalynn Araujo.

A nuestros compañeros de la maestría que pese a las ocupaciones del trabajo y de la vida, nos encontramos para ayudarnos durante la jornada que empezamos y terminamos juntos.

En la UNERMB, la Dra. Magaly Flores, por su labor para defender esta maestría de tanta utilidad para el país; a nuestro compañero de la maestría el Lic. Maikel Niel Richards, por su constancia al informar todas las veces que fue necesario ante las autoridades de la Misión Sucre en Caracas.

A los profesores de la maestría, cada uno de ellos únicos y especiales, personas de una calidad humana maravillosa, dispuestos siempre a impulsarnos, respaldarnos y sobre todo de enseñarnos, los Drs. Aníbal Borroto N., Marcos de Armas T., Félix González P., Percy Viego F., Juan Carlos Armas V., Mario Álvarez- Guerra P., Juan Francisco Puerta F., Julio Gómez S., Sergio Montelier H., Arturo Padrón P., Margarita Lapidó R., Leonel Martínez, Meybol Gessa G., M.Sc Milagros Montesinos P., Gabriel Castillo M. y a mi querido tutor, Dr. José Pepe Monteagudo Y., por sus orientaciones, su tiempo y su gentileza.

A todos los que colaboraron de una u otra forma para la culminación de este trabajo, muchas gracias.

DEDICATORIA

DEDICATORIA

A la vida por ser tan perfecta, hermosa, generosa y espléndida.

SINTESIS

SINTESIS

El trabajo presenta la situación del hotel Venetur Alba Caracas, como alto consumidor de energía térmica y eléctrica para satisfacer los servicios que ofrece el hotel, como son el hospedaje de huéspedes, salas de eventos y convenciones y bar y restaurantes. En consecuencia, se realiza un análisis de la viabilidad del uso de un sistema de cogeneración o trigeneración en el hotel Venetur Alba Caracas, el cual como se comprueba en la literatura, constituye un elemento importante que contribuye al uso racional y eficiente de la energía; además de contribuir a sustituir equipamiento de gran tiempo de explotación por las nuevas tecnologías más eficientes. Para ello se realiza la caracterización energética del hotel y de esta forma se definen las necesidades de calor, frío y electricidad. Se realiza un análisis de esquemas de cogeneración y trigeneración seleccionándose la alternativa más viable. Se seleccionaron varios esquemas de trigeneración factibles de ser colocados en el hotel; donde resulta más favorable un esquema que surte la demanda eléctrica del hotel en conjunto con una o varias máquinas de absorción combinado con una caldera auxiliar para satisfacer los picos de vapor y agua caliente que se requieran en un momento determinado. El esquema evaluado económicamente, dada la condición más crítica del hotel de operar con un único chiller para suplir las cargas de climatización condujo a seleccionar una máquina de absorción de 360 TonR. El análisis se hizo bajo dos condiciones, utilizando los precios de la electricidad que rigen en Venezuela y los precios del petróleo.

INDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN	2
Antecedentes	2
Justificación del estudio.....	3
Problema científico	3
Hipótesis.....	3
Objetivo General	4
Objetivos específicos.....	4
Capítulo I. Estado del Arte.....	6
1.1. Etimología	6
1.2. Impacto en la historia	6
1.3. Cogeneración y trigeneración.....	9
1.4. Esquemas básicos de sistemas de cogeneración	11
1.5. Tecnologías de refrigeración activadas térmicamente	13
1.6. Ventajas de la cogeneración	17
1.7. Desventajas de la cogeneración.....	18
1.8. Limitaciones de la cogeneración y trigeneración en Venezuela 18	
1.9. Conclusiones parciales.....	19

Capítulo II. Caracterización energética del hotel	20
2.1. Características físicas del hotel	20
2.1.1. Diagnóstico de recorrido.....	21
2.1.2. Consumo Eléctrico	23
2.1.2.1. Históricos De Consumo	23
2.1.2.2. Censo de Carga	25
2.1.3. Consumo por climatización	26
2.1.4. Consumo de energía térmica	27
2.1.5. Consumo de gas	28
2.1.6. Consumo de agua	31
2.2. Evaluación preliminar del uso de la cogeneración o trigeneración	33
2.3 Conclusiones parciales.....	36
Capítulo III. Estudio de alternativas de plantas de cogeneración y trigeneración para el hotel Venetur Alba Caracas	38
3.1. Consideración para la selección de propuestas de trigeneración y cogeneración.....	38
3.2. Selección de la alternativa más adecuada para el hotel en las condiciones actuales	43
3.3. Evaluación económica de la alternativa seleccionada y análisis de sensibilidad.....	45
3.4. Conclusiones parciales.....	57

CONCLUSIONES	59
RECOMENDACIONES	62
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	64
Anexo A. Tecnologías de cogeneración	69
Anexo B. Enfriadoras de agua por absorción y adsorción.....	76
Anexo C. Cálculo estimado de la carga de climatización del hotel.....	86
Anexo D. Cálculo estimado del consumo de gas del hotel.....	88
Anexo E. Cuestionario básico estudios de viabilidad sector terciario.....	91
Anexo F. Cálculo estimado del precio de la máquina de absorción	100
Glosario de términos	102

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

El hotel Alba Caracas, empezó a funcionar con administración nacional, luego de la finalización de la concesión que tuvo la cadena de hoteles Hilton en Venezuela, a partir del año 2007.

El hotel Alba Caracas, es un hotel cinco estrellas, que cuenta con dos torres y 780 habitaciones, piscina, aéreas de recreación, cocina, área de lavado y planchado; además, está ubicado cerca de la zona de museos y el teatro Teresa Carreño, cercano al servicio de transporte subterráneo denominado metro y con facilidad de transporte superficial a distintos sitios de la ciudad capital.

Como hotel cinco estrellas, presta un servicio de calidad y confort a sus usuarios. Ante el creciente consumo de la demanda eléctrica y la sequía que azotó el país desde el año 2008, acentuándose en el 2009, hubo la necesidad de administrar la energía eléctrica de forma racional y eficiente, razón por la cual, se formularon decretos, resoluciones y medidas para lograr este objetivo y de esta forma garantizar el servicio de energía eléctrica a todo el país.

El hotel como usuario final de la energía eléctrica ha tenido que tomar medidas orientadas al uso racional y eficiente de la energía; sin embargo, contar con una fuente de suministro de energía eléctrica y térmica y con posibilidad de aportar energía al sistema de electricidad nacional, en caso de producir excedentes de energía eléctrica, es una valiosa oportunidad que puede suministrarse contando con un sistema de cogeneración, tal como han hecho otros hoteles en otras partes del mundo, y es en este sentido, que se formula este trabajo.

En Venezuela, no existe experiencia previa de cogeneración en hoteles. El uso de la cogeneración es de vieja data y en el sector servicios que incluye: hoteles, hospitales, centros comerciales se denomina según la literatura, sector terciario

En el mundo el uso de la cogeneración trae beneficios debido a que se logran ahorros importantes en combustible y electricidad, además de disminuir la emisión

de gases que contribuyen al efecto invernadero, unido a una mayor eficiencia energética. Aunque durante varias décadas su uso fue dejado de lado, debido básicamente a los bajos precios del petróleo, en la actualidad factores como el aumento de los precios del petróleo y los acuerdos internacionales para la reducción de las emisiones de gases efecto invernadero, han hecho que se retome la cogeneración como alternativa para suplir las demandas simultáneas de calor y electricidad.

Justificación del estudio

En Venezuela, no se tiene experiencia usando cogeneración o trigeneración en hoteles. El estudio permite evaluar la previabilidad técnico económico de colocar cogeneración y a su vez, aprovechar al máximo la energía térmica, con la opción de la trigeneración. La posibilidad de comparar las dos opciones, permite al hotel elegir la opción que más le favorezca, de acuerdo a las políticas que defina el Ministerio del Poder Popular para el Turismo.

La colocación de cogeneración o trigeneración en el Hotel Alba Caracas, es una opción que permite satisfacer sus necesidades de energía térmica y eléctrica, de forma amigable con el ambiente y más eficiente.

Problema científico

El hotel Venetur Alba Caracas, requiere para su operación elevadas cantidades de energía térmica y eléctrica, que son satisfechas de forma ineficiente por generadores de vapor, chiller y dos grupos electrógenos de emergencia, con más de 30 años de explotación.

Hipótesis

La utilización de cogeneración o trigeneración en el hotel Venetur Alba Caracas puede satisfacer las necesidades de calor, frío y electricidad con alta factibilidad y elevada eficiencia energética.

Objetivo General

Analizar la viabilidad del uso de un sistema de cogeneración o trigeneración, en el hotel objeto de estudio.

Objetivos específicos

- Actualizar el estado del conocimiento sobre los sistemas de cogeneración y trigeneración utilizados en hotelería.
- Realizar la caracterización energética del hotel y definir necesidades simultaneas de calor, frío y electricidad.
- Desarrollar propuestas de esquemas de plantas de cogeneración o trigeneración de diferentes tipo para la selección de la alternativa más viable.
- Evaluar económicamente la propuesta del esquema de planta de cogeneración o trigeneración seleccionada.

DESARROLLO

Capítulo I. Estado del Arte

1.1. Etimología

El término co-generar es un término compuesto, formado por dos palabras, de las cuales la primera es un prefijo. El prefijo co, le añade a la palabra asociada la acción que se realiza al mismo tiempo que otra, algo o alguien más.

Según el Diccionario de la Real Academia Española, (DRAE) generar proviene del latín generare. Es un verbo transitivo y tiene dos significados: 1. tr. procrear.; 2. tr. Producir, causar algo (1).

El interés de esta autora se centra en el segundo significado. En este sentido, co-generar es producir alguna cosa al mismo tiempo que otra, o en conjunto con algo o alguien más (2).

1.2. Impacto en la historia

El término cogeneración referido a un proceso de conversión de energía, se define como la generación simultánea y combinada de energía eléctrica y/o mecánica y de energía térmica útil.

El proceso que involucra es antiguo, aun cuando el término fue acuñado por el Presidente de los Estados Unidos, James Carter, en su mensaje del 20 de abril de 1977 sobre energía; definiéndola como la producción de electricidad y otras formas de energía útil (tales como calor o vapor de proceso) en la misma instalación (3).

La primera patente conocida de cogeneración, data de 1784, cuando un cervecero de Oxford, Sutton Thomas Wood (4), obtuvo una patente para el uso del desperdicio de vapor de un proceso industrial para accionar un motor de vapor. Oliver Evans (1755-1819) fue uno de los primeros norteamericanos que reconocieron y exploraron el potencial de la cogeneración y fue el inventor de un pequeño motor de alta presión que utilizaba vapor residual de una caldera (5).

Los orígenes de la producción simultánea de calor y potencia se remontan al siglo XIX, en un dispositivo denominado Smokejack, también conocido como la chimenea de Jack o la chimenea voladora. Este dispositivo formado por pequeños molinos de viento instalados dentro de una chimenea, se mueve por la ascendencia de los gases calientes. El movimiento de rotación de las aspas se usa para mover un asador o torno. La cantidad de movimiento dependía de la velocidad y masa del flujo de aire caliente y del diseño de las aspas (6).

Varios acontecimientos conjugados sucedieron a finales del siglo XIX, que conllevaron al uso de la cogeneración en las fábricas de la época; entre ellos los más destacados son: los estudios de los procesos desde el punto de vista de la termodinámica, permitiendo mejorar los sistemas de la época; y los costos prácticamente iguales, en la generación de potencia hidráulica y generación de vapor, cuando el vapor de salida era aprovechado en procesos industriales o para mantener espacios calientes.

En 1870, Charles E. Emery (1838 – 1938) (7) (8), miembro fundador de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos, según sus siglas en inglés (ASME), escribió un detallado análisis sobre las ventajas económicas de la generación combinada de potencia y calor. Trabajó como ingeniero jefe para la compañía de vapor de Nueva York, desde 1879 hasta 1890, la cual empleaba extensamente la generación combinada de potencia y calor.

La década de 1870 representó el ingreso de nuevas tecnologías en Europa y América, donde el uso del vapor fue prioritario. Durante la Guerra Civil Americana se usó profusamente la generación de potencia con vapor, hasta las últimas décadas del siglo XIX, lo cual propició el comienzo de la industria eléctrica y la expansión del mercado de la generación combinada de potencia y calor (6).

Debido a los bajos precios del petróleo, las empresas eléctricas, promocionaban el uso de la electricidad para los distintos procesos que requerían las industrias, por lo cual la práctica de contar con cogeneración, se fue desplazando hasta quedar prácticamente en desuso.

Estados Unidos después de la segunda Guerra Mundial, mayo de 1945 (9), contaba con petróleo abundante y económico; y esto unido al crecimiento de las ciudades, al uso del automóvil como medio de transporte, el crecimiento y formación de industrias, ocasionó un uso intensivo del combustible fósil (10). Durante el periodo 1945 a 1970, Europa y Japón también incrementaron su consumo de petróleo.

El 17 de septiembre de 1960, se crea la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP), en Bagdad, capital de Irak, donde Venezuela fue protagonista, al desarrollar una política exterior en materia económica, que buscaba la defensa de los intereses petroleros venezolanos en el contexto mundial (11). Los países integrantes de la OPEP, en ese año, fueron: Arabia Saudita, Argelia, Emiratos Árabes Unidos, Indonesia, Irán, Irak, Kuwait, Libia, Nigeria, Qatar y Venezuela (12) (13). La fortaleza de la OPEP se hizo evidente a principio de 1970.

Durante el primer periodo del presidente norteamericano Richard Nixon (1968 - 1972) (14), el modelo económico del país presentaba un crecimiento nulo y la inflación era un problema del gobierno. El 15 de agosto de 1971, el presidente Nixon, abandonó el patrón oro, finalizando así el sistema Bretton Woods, que estuvo en vigencia desde el fin de la segunda guerra mundial, provocando una caída del precio del oro en los mercados internacionales. En diciembre de 1971, el dólar se devaluó 8 % con relación al oro y luego, se devaluó 11 % con respecto al oro en 1973 (15).

La devaluación del dólar mejoró la situación de las industrias de Estados Unidos, pero afectó a países en Europa y a Japón, principales competidoras, debido a que provocó una caída del precio del petróleo, que se pagaba en dólares.

Asimismo, la devaluación desmejoró la situación de los países productores de petróleo en los países del Tercer Mundo, debido a que disminuyó el valor de sus recursos naturales. Como consecuencia, se generó una lucha por el control de estos recursos y por un precio más favorable de estos recursos pagado por los

países desarrollados, situación que se mantiene hasta nuestros días y al momento, de la redacción de esta tesis, junio de 2012.

Después de la crisis de petróleo del año 1973, el mundo no volvió a ser el mismo. La contaminación ambiental que el hombre ha generado y en especial, la de los países en desarrollo, ha provocado en algunas zonas del mundo: lluvias ácidas, desertificación, inundaciones, desprendimiento de grandes bloques de hielo, huecos en la capa de ozono, aumento del volumen del mar, muerte en algunas zonas del mar, disminución de la diversidad botánica y zoológica, entre otras afectaciones.

En este sentido, los países desarrollados han realizado investigaciones en el campo de los combustibles alternativos, que permitan la disminución de la dependencia al combustible fósil. Se ha mirado con otra óptica, cómo hacer más eficientes los procesos que involucran la transportación a nivel aéreo, por mar y tierra; los relativos a la generación de energía eléctrica a partir de combustibles fósiles; en el cual, se mejore o cambie la tecnología actual, que permita un mejor aprovechamiento de esta energía; el renacer del tema de la cogeneración y el de la trigeneración o poligeneración, entre otras alternativas energéticas.

Dentro de estas alternativas, la trigeneración (16) (17) es un procedimiento similar a la cogeneración en el que se obtiene frío, además de energía eléctrica y calor. Esto significa un aprovechamiento mejorado de todas las energías existentes en el proceso. La combinación de la cogeneración con la absorción da lugar a la trigeneración. La absorción, es un proceso por el que se puede obtener frío a partir de una fuente de calor.

1.3. Cogeneración y trigeneración

Como se mencionó anteriormente, la cogeneración o en inglés Combined Heat and Power (CHP) constituye generación simultánea y combinada de energía térmica y eléctrica. La trigeneración o en inglés Combined Heat, Cold and Power (CHCP) incluye la cogeneración y además, aprovecha el calor residual para obtener frío. Sin pretender realizar un tratado, el cual no es el propósito de esta

tesis, se señalarán aspectos básicos de la cogeneración y esquemas básicos de trigeneración.

Un sistema de cogeneración, como se muestra en la figura 1.1, está compuesto por:

- Fuente de Energía: gas natural, fuel oil N°2 (gasoil o diesel), fuel oil N°6, carbón, biomasa, biogás, entre otros.
- Motor primario: turbina de vapor, turbina de gas, microturbina de gas, motor de combustión interna, motor Stirling, pilas de combustible (18).
- Sistema de aprovechamiento de energía mecánica: compresores, bombas, generadores eléctricos.
- Sistema de aprovechamiento de calor: caldera convencional, caldera recuperadora, hornos, secadores e intercambiadores de calor.

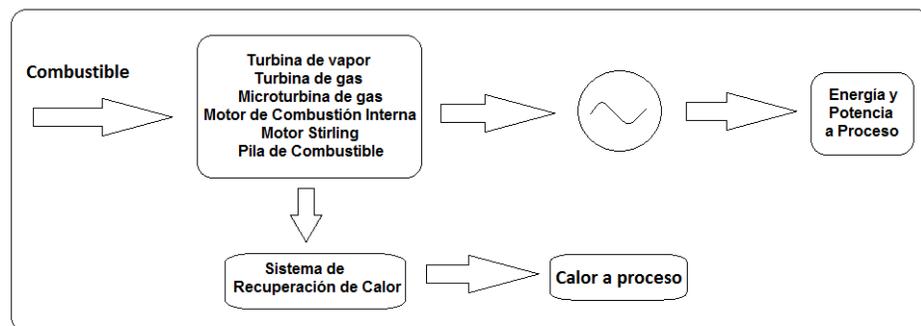


Figura 1.1. Esquema de cogeneración

Por otro lado, un sistema de trigeneración, como se muestra en la figura 1.2 está compuesto por:

- Los elementos que conforman un sistema de cogeneración.
- Un sistema de absorción y/o adsorción para la producción de frío. Donde los más utilizados son los sistemas de absorción.

El sistema de refrigeración por absorción es un medio de producir frío que, al igual que en el sistema de refrigeración por compresión, aprovecha que ciertas sustancias absorben calor al cambiar de estado líquido a gaseoso. No obstante,

utilizan menos energía que los sistemas tradicionales con compresor, ya que se utiliza bombas que consumen menos energía comparado con un compresor.

En el sistema por absorción, se requiere de una sustancia absorbente y otra absorbida. Por lo general, se utiliza bromuro de litio y agua ($H_2O/LiBr$) siendo el agua, el refrigerante; o amoníaco y agua (NH_3/H_2O), siendo el amoníaco, el refrigerante.

En el sistema por adsorción, se requiere de un sorbedor, el que realiza la sorción (succión físico-química) y un desorbedor o generador de vapor en donde se separa el vapor del sorbente, por medio de la acción del calor aplicado. Las combinaciones que se utilizan en estos sistemas son gel de sílica - agua y zeolita - agua. El refrigerante es el agua.

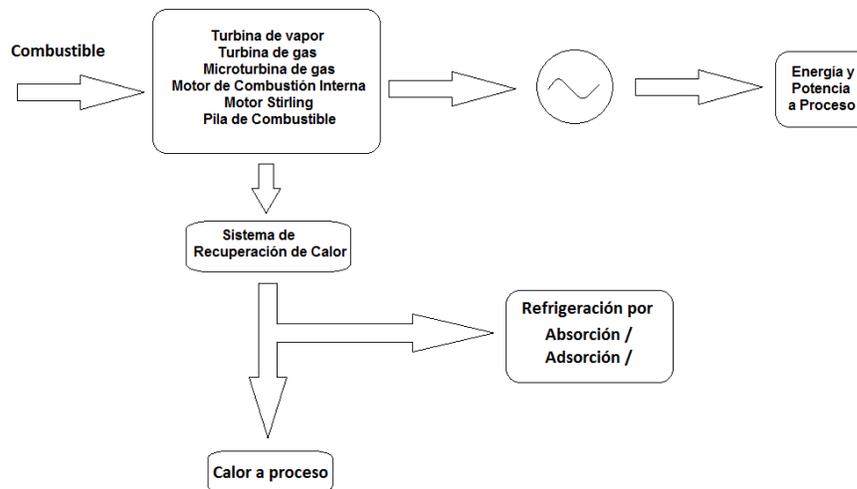


Figura 1.2. Esquema de trigeneración

1.4. Esquemas básicos de sistemas de cogeneración

De acuerdo al orden o posición relativa de la energía eléctrica y térmica se clasifican en (3):

- Sistemas superiores o ciclos de cabecera (Topping Cycles): en los cuales la energía primaria se emplea para obtener un fluido a alta temperatura, con el

que se genera energía mecánica y/o eléctrica, y luego el calor residual se utiliza en un proceso. Estos sistemas son típicos en la industria del papel, petróleo, textil, alimentos, azúcar, etc. La figura 1.3 muestra este tipo de configuración.

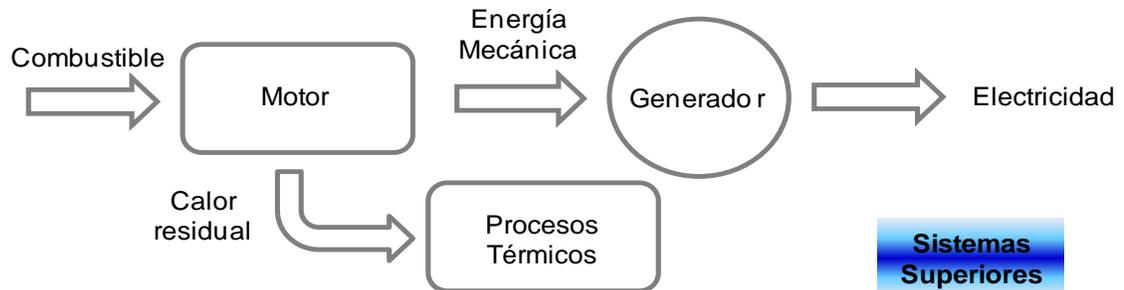


Figura 1.3. Sistemas superiores

- Sistemas inferiores o ciclos de cola (Bottoming Cycles): en los que la energía primaria se convierte en calor de proceso, y a partir del calor residual del mismo es que se produce energía mecánica y/o eléctrica. Este tipo de sistema es utilizado en la industria del cemento, vidrio, acero, etc. En la figura 1.4, se muestra el esquema.

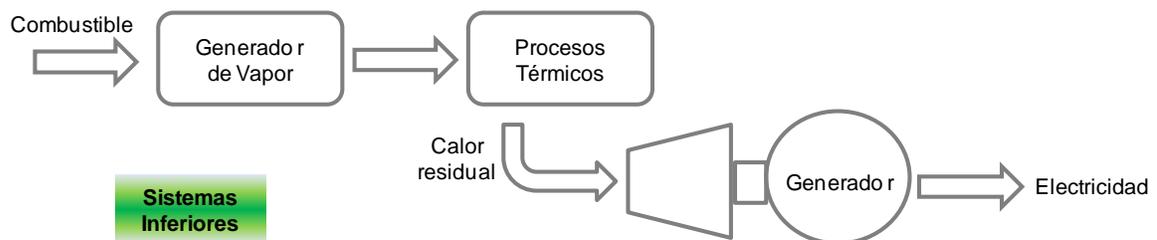


Figura 1.4. Sistemas inferiores

Esquemas de cogeneración

Existen diversos esquemas de cogeneración, dependiendo del motor principal con el cual se genere electricidad, tales como turbinas de vapor; turbinas de gas; micro turbinas de gas; motores de combustión interna de ignición y de chispa; motor stirling, que aún hoy son muy costosos y las pilas de combustibles de baja temperatura y alta temperatura. La selección de cualquiera de estas tecnologías depende de los requerimientos de temperatura de los gases de escape o del calor disponible, así como la calidad de este calor y de la disponibilidad de los combustibles existentes. Un resumen de estas tecnologías se cita en el anexo A.

Sistemas de recuperación de calor

En los sistemas de cogeneración y trigeneración, se considera importante la eficiencia en la forma de recuperar el calor residual proveniente de la tecnología utilizada. Razón por la cual, se realizan esfuerzos para aumentar el potencial de recuperación de energía térmica por medio del uso de intercambiadores de calor (18). El uso de recuperadores en microturbinas y motores, depende de la eficiencia térmica y las características de la carga eléctrica de la tecnología de cogeneración y trigeneración. Más detalles se encuentran en el anexo A.

1.5. Tecnologías de refrigeración activadas térmicamente

Como se mencionó anteriormente, un sistema de trigeneración, es un sistema de cogeneración con un sistema adicional que aprovecha calor residual que aún queda en el proceso para generar frío y a partir de un único combustible primario.

Las tecnologías que permiten este uso adicional se denominan tecnologías de refrigeración activadas térmicamente. Se consideran una alternativa atractiva para aplicaciones de aire acondicionado y refrigeración, por cuanto utilizan calor para activar el ciclo, a diferencia de los sistemas convencionales de compresión de vapor (refrigerantes) o chillers (18).

Estas tecnologías tienen como beneficio, utilizar refrigerantes naturales y reducir el problema del calentamiento global al disminuir las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) y el uso de refrigerantes altamente nocivos al ambiente. Aún

cuando su rendimiento no es comparable con los sistemas convencionales de acondicionamiento de aire y refrigeración. Su principal ventaja es consumir menos electricidad al sólo contar con bombas.

Los equipos que se encuentran dentro de las tecnologías activadas térmicamente se incluyen enfriadoras de agua por absorción, adsorción, líquidos y sólidos desecantes, entre otros. Estas tecnologías pueden ser accionadas con vapor, agua caliente o gases de escape provenientes de las tecnologías de cogeneración. La temperatura de activación y COP de algunos de estos equipos activados térmicamente se presentan en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1. Tecnologías activadas térmicamente.

Tecnologías activadas Térmicamente	Temperatura de activación (K)	COP* (<u>Coefficient of Performance</u>)
Absorción	353,15-463,15 (80 - 190 °C)	0,6 – 0,75 Simple efecto 1 – 1,3 Doble efecto 1,3 – 1,7 Triple efecto
Adsorción	353,15 – 573,15 (80 - 300 °C)	0,3-0,8
Líquidos desecantes	313,15 – 363,15 (40 - 90 °C)	0,5 – 1,5
Sólidos desecantes	353,15 – 423,15 (80 - 150 °C)	0,5 – 1
Reacciones químicas	353,15 – 573,15 (80 - 300 °C)	1,2 – 0,2
Eyector	353,15 – 423,15 (80 - 150 °C)	0,3 – 0,8

*Coeficiente de Rendimiento Energético

En la tabla 1.2, se muestra a nivel mundial, en 113 instalaciones, hacia donde tienden las tecnologías de refrigeración que no usan compresión de vapor.

Tabla 1.2. Tecnologías de refrigeración que no usan compresión de vapor (18)

Tecnología	Unidades instaladas	Porcentaje
Absorción	80	71
Adsorción	15	13
Desecante Sólido	16	14
Desecante Líquido	2	2
Total	113	100

Enfriadoras de agua por absorción

Las enfriadoras de agua por absorción, funcionan por la combinación de un absorbente líquido y un refrigerante líquido. Las máquinas de absorción que se comercializan son las de agua/bromuro de litio ($H_2O/LiBr$) y amoníaco/agua (NH_3/H_2O) (18).

En el sistema de agua/bromuro de litio el refrigerante es el agua, por lo que las aplicaciones utilizadas son para temperaturas mayores de 278,15 K a 280,15 K (5 y 7 °C) en la producción de agua fría para climatización y algunos procesos que se necesite esta temperatura.

En los sistemas de amoníaco/agua el amoníaco actúa como refrigerante; las aplicaciones pueden ser tanto para climatización como para procesos industriales donde se necesiten temperaturas de 273,15 K hasta 223,15 K (0 °C hasta -50 °C).

En el ciclo de absorción presentado en la figura 1.5, el vapor refrigerante proveniente del evaporador es absorbido a baja presión por una solución absorbente/refrigerante en el absorbedor. En este proceso de absorción del refrigerante, cierta cantidad de calor se libera, la cual se disipa usando agua o aire por medio de una corriente externa en el absorbedor. Luego, la solución se bombea al generador, donde el vapor refrigerante se genera a partir de la ebullición de la solución a presión más alta con la adición de calor a temperatura elevada. Seguidamente el vapor se condensa a alta presión y temperatura con la

disipación de calor, o bien al ambiente, o en el agua de refrigeración que fluye en el condensador.

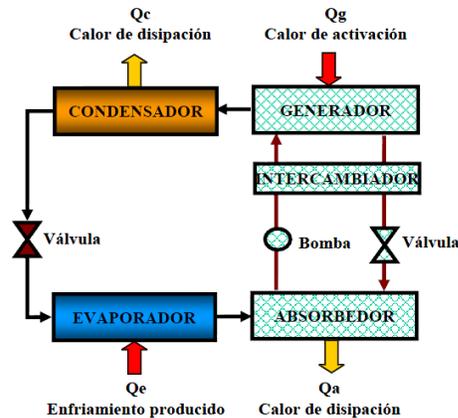


Figura 1.5. Ciclo de refrigeración por absorción (18)

Los ciclos de absorción, utilizan como fluido de trabajo una mezcla de saturación de la solución compuesta por un refrigerante y un absorbente, por lo cual la temperatura se puede modificar cambiando la presión o la composición de la solución.

Enfriadoras de agua por adsorción

Un ciclo de refrigeración térmica por adsorción como se muestra en la figura 1.6, lo forma un sorbedor, un desorbedor, un condensador, una válvula de expansión y un evaporador.

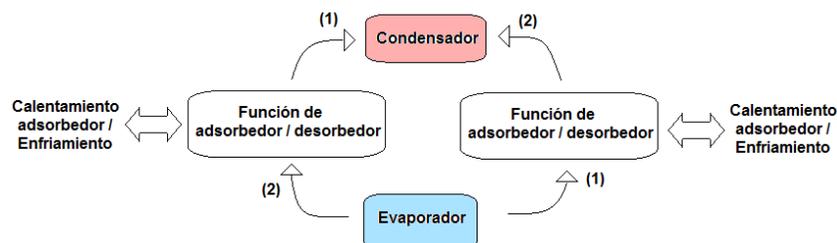


Figura 1.6. Esquema sistema de adsorción

Como se observa, el principio de funcionamiento es similar al de un sistema de absorción, aunque en este caso el absorbente no es un líquido, sino un sólido.

Por lo general, el sistema funciona en dos etapas, donde la silica gel o la zeolita funcionan como adsorbente y desorbente para realizar el proceso de climatización. El refrigerante es el agua. Mayor detalle de las máquinas de absorción y adsorción, se encuentran en el anexo B.

1.6. Ventajas de la cogeneración

- **Ahorro energético global.** Este ahorro se debe al aumento del rendimiento global de la instalación, como lo ha demostrado la experiencia; debido a que a partir de un único combustible se genera simultáneamente energía térmica y eléctrica aprovechable; a pesar que los gastos de combustible aumenten.
- **Incremento de la competitividad.** Al lograr el ahorro energético global, se aumenta la eficiencia de la edificación y por tanto, de la institución en conjunto, al reducirse los costos de producción y, por consiguiente, un aumento en la competitividad comparado con instituciones similares en tamaño y producción o servicio.
- **Seguridad en el abastecimiento de energía eléctrica.** Debido a que el conjunto genera electricidad para su consumo, se logra una independencia del suministro por parte de la operadora del servicio de electricidad y por ende, de los cortes por eventos en la red eléctrica.
- **Reducción del impacto ambiental.**

Debido al ahorro en el consumo de energía primaria, al utilizar un solo combustible de forma directa para suplir las necesidades térmicas y de electricidad.

Disminución de la contaminación térmica en embalses, ríos, lagos y mar al consumir gran parte del calor residual.

- **Desarrollo y diversificación del mercado de bienes y servicios energéticos.** Al tratarse de un sistema de generación de electricidad, permite

establecer un contrato de compra y venta de energía excedente cuando ocurra, con las compañías operadoras del servicio de electricidad donde la legislación lo permita.

- **Reducción de pérdidas en el transporte de electricidad.** Al producirse y consumirse la energía en el mismo sitio donde se genera, se reducen las pérdidas de energía eléctrica debidas a la transmisión.
- **Posibilidad de instalación en zonas no electrificadas.** La condición de generación en el lugar de consumo permite la industrialización en cualquier lugar, siempre que exista la facilidad de obtener combustible fósil, en principio.

1.7. Desventajas de la cogeneración

- Mayor complejidad de la producción energética, que involucra personal de mantenimiento más especializado.
- Impactos en su utilización motivada a cambios en la normativa o en los precios de los combustibles.
- Problemas que no son parte del negocio medular de la institución.

1.8. Limitaciones de la cogeneración y trigeneración en Venezuela

- **Falta de incentivo para instalar cogeneración y trigeneración.** No existen políticas que incentiven a las instituciones a usar este tipo de alternativas que permiten el uso de un solo combustible para suplir sus necesidades de electricidad, térmicas y de frío. La mayoría de las empresas se encuentran en la zona norte costera del país, que cuentan con suministro de electricidad. Además que el país cuenta con una cobertura de un 97 % en la prestación del servicio de electricidad a los usuarios. Sólo un 3 % no es servido por el sistema eléctrico nacional.
- **Tarifas de electricidad muy bajas.** Desde hace 10 años no se realiza una revisión de las tarifas eléctricas, las cuales están subsidiadas.
- **Inexistencia de legislación** en cuanto a energía excedente generada, precios y condiciones para sincronizarse a la red eléctrica nacional en un momento

determinado, entre otros; como existen en otros países, como E.E. U.U. y la Comunidad Europea.

1.9. Conclusiones parciales

- Un sistema de trigeneración es más eficiente que un sistema de cogeneración porque el calor residual no sólo se usa en procesos que lo requieren sino que también se genera frío. Las tecnologías actuales permiten seleccionar sistemas de trigeneración adaptados a las necesidades de los clientes tipo paquete, con servicio técnico.
- La cogeneración y trigeneración tienen muchas ventajas principales, entre las que se destacan el ahorro energético global, reducción del impacto ambiental, reducción de pérdidas en el transporte de electricidad y la posibilidad de instalación en zonas no electrificadas. Las limitaciones de su implantación en Venezuela, radican principalmente en la falta de políticas de incentivos a su utilización, los bajos costos de la electricidad y la falta de legislación requerida.
- Las instalaciones hoteleras son apropiadas para la introducción de esquemas de trigeneración al presentar necesidades de calor, frío y electricidad para la satisfacción de las necesidades de sus clientes. Esta es una opción muy interesante para la mejora de la gestión energética en estas instalaciones y cuenta con numerosas aplicaciones exitosas a nivel mundial. En instalaciones hoteleras los esquemas de trigeneración más utilizados emplean tecnologías como micro turbinas y turbinas de gas o motores de combustión interna a gas, con sistemas de absorción de agua/bromuro litio para la producción de frío.

Capítulo II. Caracterización energética del hotel

2.1. Características físicas del hotel

El 1º de septiembre de 2007, el Hotel Caracas Hilton cambió oficialmente de nombre y pasó a ser el Hotel Alba Caracas, administrado por el Centro Simón Bolívar (CSB). El 17 de junio de 2009, la administración pasa al Ministerio de Turismo (MINTUR) y desde ese momento, MINTUR y el Hotel Alba Caracas establecen una alianza que busca incentivar el turismo con la reactivación de planes sociales.

El hotel Venetur Alba Caracas, es un hotel cinco (5) estrellas, ubicado en la Avenida México, con Av. Sur 25, frente al Complejo Cultural Teresa Carreño, en la Urbanización El Conde. Distrito Capital.

El hotel posee dos edificaciones: Torre Sur y Torre Norte. La Torre Sur es la más antigua de las edificaciones, acondicionada alrededor de los años 1970. Cuenta con 17 pisos de construcción, además de dos Sótanos, Planta Baja y Mezzanina. La Torre Norte posee en su estructura 26 pisos, además de otros 3 niveles donde se ubica el Sótano, la Planta Baja y la Mezzanina. Ambas edificaciones se comunican entre sí en Planta Baja.

En total se encuentran entre las dos torres, 23 suites, 2 suites presidenciales, 90 habitaciones en pisos ejecutivos y 623 habitaciones tipo Standard, con un total de 738 habitaciones. Dichas habitaciones cuentan con servicio de lavandería, tintorería y televisión por cable, además de servicio a las habitaciones las 24 horas del día.

El hotel posee 37 salones de diversos tamaños, entre los cuales se destaca El Salón Bicentenario que puede albergar hasta 3 000 personas. Los salones permiten la realización de eventos y convenciones, con todos los servicios.

El hotel cuenta además, con un área de tiendas, peluquería, barbería, farmacia, gimnasio, dos restaurantes, un Lobby bar, dos piscinas, dos canchas de tenis y

estacionamiento, tanto para empleados del hotel como para clientes, así como también oficinas de uso administrativo externas a las actividades del hotel.

Se hizo una evaluación de la facturación del hotel respecto a los servicios que recibe de electricidad, agua y gas; para el periodo septiembre 2009 a febrero 2011, suministrados por el personal del hotel, evidenciándose que la energía eléctrica representa el 54,27 % del peso de la facturación en servicios; seguido del agua que constituye el 33,92 % y el gas un 11,81 %. En la figura 2.1 se muestra el diagrama de Pareto de servicios facturados del hotel.

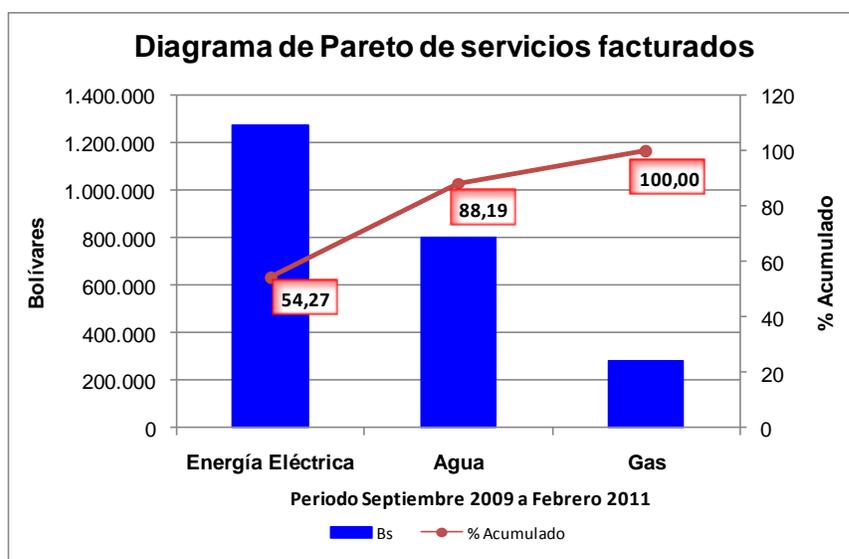


Figura 2.1. Diagrama de Pareto de servicios facturados en el hotel

2.1.1. Diagnóstico de recorrido

En el año 2009, se realizó un diagnóstico al hotel Venetur Alba Caracas, con personal del hotel, la Electricidad de Caracas (EDC), ahora Corporación Eléctrica Nacional (CORPOELEC) y Fundación para el Desarrollo del Servicio Eléctrico (FUNDELEC), como inicio de las actividades conducentes a evaluar grandes consumidores de electricidad, con el fin de empezar las actividades relativas al uso racional y eficiente de la energía. El hotel se seleccionó como usuario piloto, por ser un gran consumidor y el hotel más grande de la República Bolivariana de Venezuela.

En este sentido, se levantó información de la carga eléctrica existente con el objeto de obtener un censo de carga actualizado. De esta actividad surgieron recomendaciones que el hotel ha incorporado como fue, la sustitución de bombillos incandescentes por ahorradores, y en el lobby del hotel se cambio a bombillos led en la recepción. Cambio de balastos magnéticos por balastos electrónicos en cuanto se deterioran. Cabe destacar, que en términos generales, la iluminación del hotel se encuentra por debajo de lo recomendado y tampoco presenta uniformidad, de acuerdo al estudio realizado por personal de la unidad de luminotecnica de CORPOELEC para el Hotel Venetur Alba Caracas.

No obstante, según mediciones de CORPOELEC, cuando se compara 2009 con 2010, la disminución en el consumo de energía eléctrica (kWh) sólo representa en promedio 5,4 % y comparando los meses transcurridos de 2011 con los correspondientes del 2010, ha habido un incremento de 3,05 %.

Considerando el tiempo transcurrido desde el diagnóstico hasta el presente, cabe resaltar, que durante el diagnóstico de recorrido se observó que no existen muchas de las mediciones requeridas para poder hacer indicadores que permitan elaborar un plan de gestión del hotel y aún a la fecha, no se han incorporado.

La ausencia de instrumentos para medir el consumo de agua caliente, flujo de vapor de la caldera, agua que consume la caldera, agua de condensado, agua helada, presión de vapor hacia lavandería y cocina, temperatura de vapor en lavandería y cocina, entre otros, aun persiste hasta la fecha.

Respecto al uso racional del agua, en la actualidad no se cuenta con grifería que permita ahorros en el consumo de agua en el hotel.

En cuanto a la climatización del hotel, el sistema es centralizado a presión constante, y con fan cooler manuales en las habitaciones, no es automático. A las torres de enfriamiento con agua, no se les ha realizado el mantenimiento pertinente en años, siendo las dos en uso, equivalentes a una torre de enfriamiento. Situación observada en 2009 y que aún persiste. El sistema de bombeo sólo cuenta con una moto bomba, las demás se encuentran fuera de

servicio, tanto para el sistema de bombeo de agua helada como para el sistema de bombeo de agua condensado.

En el área de la cocina, la parte de las cavas, se les incorporó cortinas para evitar las pérdidas de frío.

2.1.2. Consumo Eléctrico

El hotel cuenta con un punto de alimentación por parte de CORPOELEC, que alimenta a una subestación interna en cada una de las edificaciones, y a su vez las distintas cargas eléctricas, como son el chiller, ascensores, iluminación, motores, cargas varias, entre otros.

Cuenta con dos grupos electrógenos o de generación eléctrica con motores diesel, en cada uno de los edificios para cubrir las cargas eléctricas más importantes en caso de emergencia o falta de energía por parte de CORPOELEC, marca Macfarlane Engineering, fabricados en 1971, con capacidad de 375 kVA; factor de potencia 0,8 y 300 kW de potencia. Ambos listos para ser operados en caso de emergencias.

2.1.2.1. Históricos De Consumo

Revisando los datos históricos del hotel en cuanto al consumo mensual de energía eléctrica en kWh, con información obtenida de la Corporación Eléctrica Nacional (CORPOELEC), y representada en la figura 2.2, desde enero 2009 hasta octubre 2011 se observa el consumo para los distintos meses del año; donde es mayor el consumo en el 2009 respecto al del año 2010, con patrones que se repiten y picos durante abril, julio, septiembre y octubre, en ambos años. En el 2011, se observa un comportamiento durante el primer trimestre del año similar al de los años 2009 y 2010; sin embargo, se observa pico de consumo en los meses junio y septiembre; comportamiento atípico comparado con los años 2009 y 2010; que el personal del hotel no pudo explicar.

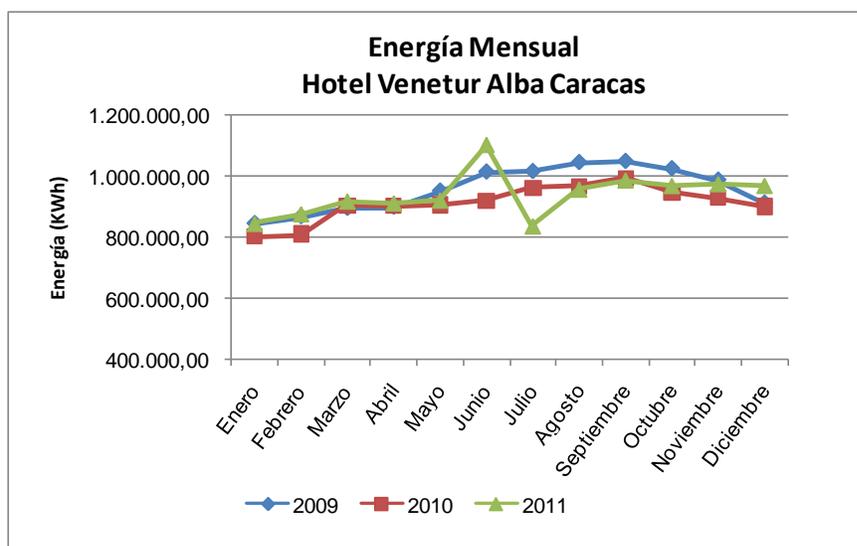


Figura 2.2. Energía mensual medida en kWh (Fuente: CORPOELEC)

De igual manera, en la figura 2.3, se observa el comportamiento mensual de la demanda en kVA, suministrado por CORPOELEC para el periodo enero 2009 hasta abril 2011, en el cual no se excede la demanda contratada de 1 882 kVA para el periodo mencionado; asimismo, en 2011 se mantiene por debajo de este valor, notándose en septiembre un decrecimiento de 34,74 % respecto al valor de agosto, que el personal del hotel no pudo explicar. En la tabla 2.1 se muestran los valores máximos ocurridos durante el periodo 2009 a 2011.

Tabla 2.1. Valores máximos de energía eléctrica

	2009	2010	2011
Energía (kWh)	1.047.724,14	993.600,00	1.102.500,00
Mes	Septiembre	Septiembre	Junio

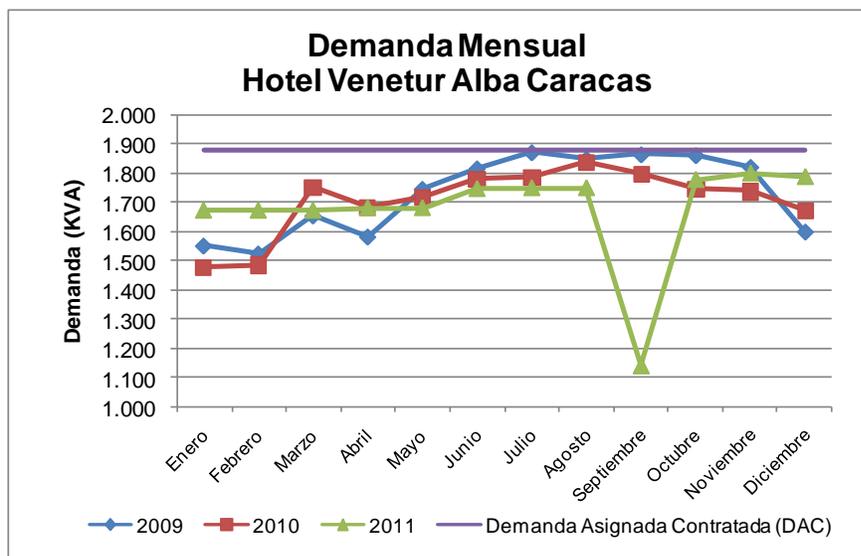


Figura 2.3. Demanda mensual medida en KVA (Fuente: CORPOELEC)

2.1.2.2. Censo de Carga

Durante el año 2009, se realizó un diagnóstico energético al hotel, donde se levantó un censo, en conjunto con el personal del hotel, FUNDELEC y CORPOELEC, con el objeto de determinar los kVA instalados y la distribución de las cargas del hotel. Dichos cálculos se basaron en normas internas de CORPOELEC y el Código Eléctrico Nacional, arrojando los siguientes resultados:

Carga total conectada teórica: 5 856,92 kVA.

Demanda máxima estimada: 2 741 kVA.

Consumo mensual estimado: 1 049 761 kWh.

Con los datos del censo, se estableció la distribución de las cargas eléctricas en las instalaciones del hotel, dando como resultado:

Tabla 2.2. Demanda por tipo de carga y porcentajes respecto a la carga total

Descripción	Kva	% De demanda	% Acumulado a la demanda
Acondicionamiento de aire	2 922,6	49,9	49,9
Motores (*)	1 206,5	20,6	70,5
Carga Refrigerada	743,8	12,7	83,2
Iluminación	702,8	12	95,2
Audio-Video-Computación	199,1	3,4	98,6
Cargas Varias	64,4	1,1	99,7
Cargas Especiales	17,6	0,3	100

(*) Motores de: ascensores, bombas de aguas servidas, bombas de aguas blancas, licuadoras, batidoras, etc.

En la Tabla 2.2, se aprecia que el 83,2 % del consumo del hotel se agrupa en torno a tres grandes consumidores, sistema de acondicionamiento de aire, motores y cargas refrigeradas; de ellos el 49,9 % lo constituye el sistema de acondicionamiento de aire y el resto distribuido en los demás equipamientos; por lo que se puede inferir que cualquier mejora a la disminución de la demanda en el sistema de acondicionamiento de aire es valorable.

2.1.3. Consumo por climatización

El área de climatización del hotel es 66 915,07 m², siendo el área total de construcción 81 517,43 m².

Para suplir la demanda por climatización se cuenta con un sistema centralizado todo agua a presión constante enfriado con dos torres de enfriamiento con agua. El chiller es marca Trane, de 710 Toneladas de frío y no tiene respaldo. Las otras unidades chiller, más pequeñas en capacidad que se encuentran en el hotel, están

fuera de servicio, porque el refrigerante que usan ya no se consigue en el mercado.

Se utilizó el programa Calculair, versión Windows XP, descargado de Internet, en su sitio Web, (19) para realizar un estimado de la carga térmica por climatización del hotel (20). Se creó una nueva zona con los siguientes datos:

Venezuela, Distrito Capital, son temperatura en Verano 30 °C, humedad relativa 80 %, Temperatura en invierno 25 °C, diferencia temperatura en Verano 10 °C, latitud 10,5 °N, altura sobre el nivel del mar: 850 m. Venezuela se encuentra entre los 0° y 12° de latitud Norte y entre 72 y 60° de longitud Oeste.

Los horarios de uso de las distintas áreas del hotel como baños, salas de reuniones, habitaciones y pasillos, fueron datos suministrados por el personal de ingeniería. Asimismo, en la Torre Sur, se consideró la carga de las habitaciones sencillas y dobles, iguales y como una habitación ejecutiva de la Torre Norte.

Con todas las premisas mencionadas, se obtuvieron los siguientes resultados de carga térmica por climatización, resumidos en la tabla 2.3. En el anexo C, se muestran los resultados por pisos para cada torre.

Tabla 2.3. Carga térmica por climatización

	Unidad kWt (Ton R)
Torre Norte	3 126,14 (888,90)
Torre Sur	1 140,05 (324,17)
Total	4 226,20 (1 213, 07)

Notas: kWt: kilovatio térmico; Ton R: tonelada de refrigeración

2.1.4. Consumo de energía térmica

El hotel supe sus requerimientos de energía térmica con dos calderas de baja presión, marca Powermaster, de 149 139, 97 Wt (200 HP), siendo una de ellas la de respaldo. La alimentación de las calderas es con gas metano industrial, cuyo proveedor es PDVSA gas. Cuenta con una planta suavizadora de agua, y un

tanque de recuperación de condensado de 757,08 L (200 galones). Una vez en funcionamiento, la caldera se alimenta con agua precalentada, proveniente del recuperador de condensado. La caldera se purga tres veces al día, durante 20 segundos. Se desconoce el consumo de agua de la caldera. No existen recuperadores de calor en la chimenea, la temperatura en promedio de los gases se encuentra en 510,93 K (460 °F ó 240 °C), a 620 528,16 N/m² (90 PSIG ó 6,12 atm). El valor máximo de trabajo es a 689 475,73 N/m² (100 PSIG).

La caldera suministra vapor para calentar agua, que surte los requerimientos de agua caliente a los servicios generales, lavandería, habitaciones y cocina. Se suministra vapor a la cocina y al área de planchado. El sistema es un circuito cerrado, debido a que el vapor utilizado por los distintos servicios al condensarse se recupera en el tanque de recuperador de condensado, el cual a su vez se usa luego de un tratamiento previo para suministrar agua caliente a la caldera a una temperatura en promedio de 318,15 K (45 °C ó 113 °F). El control de combustible se realiza de forma automática a través de un sistema de control. El esquema del vapor se muestra en la figura 2.4.

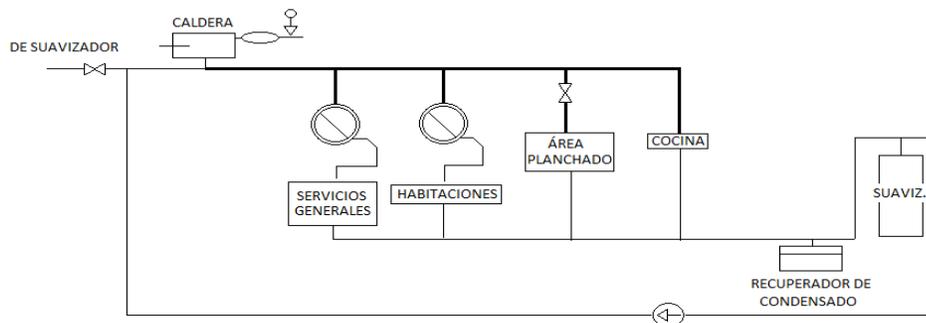


Figura 2.4. Esquema de distribución del circuito de la caldera (21)

2.1.5. Consumo de gas

El hotel cuenta con una subestación de gas. El gas para estos fines, es gas metano industrial, suministrado por PDVSA gas. En la figura 2.5, se muestra el consumo de gas mensual del hotel Venetur Alba Caracas. Para determinar cuál es el consumo más significativo del hotel, el personal de ingeniería tomó lecturas

durante el mes de agosto 2011, en la subestación de gas del hotel, en el medidor de la caldera y el principal, determinándose que el mayor consumidor es la caldera y el consumo de las cocinas es imperceptible comparado con éste, porque de hecho, el contador principal ni lo registra. No se dispone de datos históricos realizados por el personal de ingeniería.

La figura 2.5, muestra el consumo de gas durante enero 2010 a octubre 2011, suministrado por PDVSA gas, en donde se evidencia que durante el primer semestre del año 2011, existen crecimientos durante febrero y junio, comparado con el 2010 y en el segundo semestre de 2011, se repite el patrón de comportamiento observado durante 2010, sólo que el consumo es menor durante 2011, con picos en julio y septiembre. Los valores máximos de consumo de gas se muestran en la tabla 2.4.

Tabla 2.4. Valores máximos de consumo de gas

	2009	2010
Gas (m³)	90.794,00	75.021,00
Mes	Septiembre	Julio

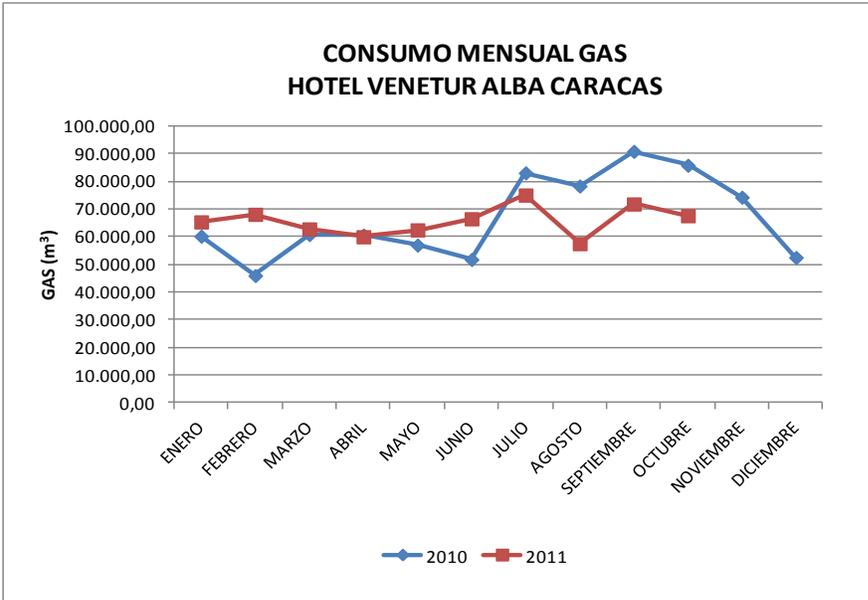


Figura 2.5. Consumo mensual de gas metano industrial (Fuente: PDVSA gas)

Para calcular cuánto vapor produce la caldera instalada en el hotel, se hicieron varias suposiciones, debido a la imposibilidad de intervenir en el sistema generador de vapor, el cual no posee respaldo en caso de una eventualidad, porque por lo general se encuentra en mantenimiento.

Partiendo del consumo de gas metano industrial suministrado por PDVSA y el comportamiento de consumo diario medido durante agosto de 2011, que en promedio tiende a encontrarse en el orden de los dos mil metros cúbicos; se calculo el valor promedio de consumo de gas mensual del hotel, para el año 2010 y el año 2011. Para completar los valores faltantes de los dos últimos meses de 2011, se considero los mismos porcentajes que se presentaron para los mismos meses en el año 2010.

Luego, se obtuvo un promedio mensual de consumo por mes para el periodo 2010 - 2011, resultando $64\ 898,57\ \text{m}^3/\text{mes}$.

A partir de este valor promedio mensual para el periodo, se calculó el consumo diario de gas, obteniéndose $2\ 163,28\ \text{m}^3/\text{día}$. Lo cual es consistente con las mediciones diarias realizadas durante el mes de agosto 2011.

El consumo de la caldera es variable y depende de los requerimientos que tenga el hotel, en sus áreas de agua de servicio, agua de las habitaciones, cocina, lavado y planchado. En consecuencia, se asumió que la caldera trabaja 12 horas durante el día.

Con el consumo diario de gas estimado $2\ 163,28\ \text{m}^3/\text{día}$, la densidad absoluta del gas $0,8692\ \text{kg}/\text{m}^3$, y el uso estimado $12\ \text{h}/\text{día}$, se obtiene el flujo promedio de gas estimado de la caldera, $156,69\ \text{kg}/\text{h}$. Este flujo se compara con el flujo de una caldera Power Master (22) construidas en la actualidad con datos del fabricante, con igual capacidad de 200 BHP (Boiler Horse Power) o Caballos Caldera (C.C.), cuyo valor es de $172,3\ \text{kg}/\text{h}$. Comparando estos valores, se obtiene que la caldera consume un 90,94 % del valor de referencia nominal.

El consumo de vapor se asume igual al consumo del agua. Como no se pudo medir el consumo de agua, se asumió que el porcentaje de combustible que

consume es igual al porcentaje de vapor que produce la caldera actual comparada con una caldera nueva. Una caldera nueva operando al 100 % tiene un flujo de vapor de 3 130 kg/h; tomando este valor como referencia, y el porcentaje de combustible que consume, el flujo de vapor de la caldera corresponde a 2 846,4925 kg/h.

La caldera opera a 620 528,16 N/m² (90 PSig (manométrico) ó 6,12 atm); con este valor se busca en la tabla de agua saturada, los valores de entalpía para el vapor ($h_v = 2758,1$ KJ/kg) y para el agua de alimentación ($h_{aa} = 675,55$ KJ/kg). Conociendo el flujo de vapor y los valores de entalpía antes mencionados, se obtiene el calor (Q), que produce la caldera, obteniéndose 5 928 105,2805 KJ/h (1 646,69 kWt).

Con los flujos de vapor, combustible, entalpías del vapor y el agua de alimentación y el poder calorífico del gas, se puede calcular el rendimiento de la caldera por el método directo, obteniéndose 87,40 %. Detalles de estos cálculos se encuentran en el anexo D.

2.1.6. Consumo de agua

Según datos suministrados por la administración del hotel, se observa durante 2010, dos picos uno en abril y otro en octubre; durante 2011, se repite el patrón de comportamiento observado en 2010. En la figura 2.6, se muestra el consumo de agua del hotel, donde el 2011 sigue el patrón observado en el 2010 durante los tres primeros meses del año.

En este consumo se incluye el consumo de las torres de enfriamiento. Sin embargo, por información provista por el hotel, en algunos momentos del año, las torres de enfriamiento reciben agua del hotel Residencias Anauco, ubicado cerca del hotel; por lo cual el consumo del hotel puede disminuir.

El personal de ingeniería realizó mediciones en el mes de agosto de 2010 y en promedio, las torres de enfriamiento consumen diariamente 12 m³ y el consumo del mes fue de 374 m³. No se dispone de datos históricos realizados por el

personal de ingeniería, por lo que no se tiene el consumo diario de las torres durante otros meses del año.

La diferencia entre el consumo total de agua del hotel, registrado por la empresa hidrológica y el de las torres, es el consumo del hotel; con la salvedad antes mencionada.

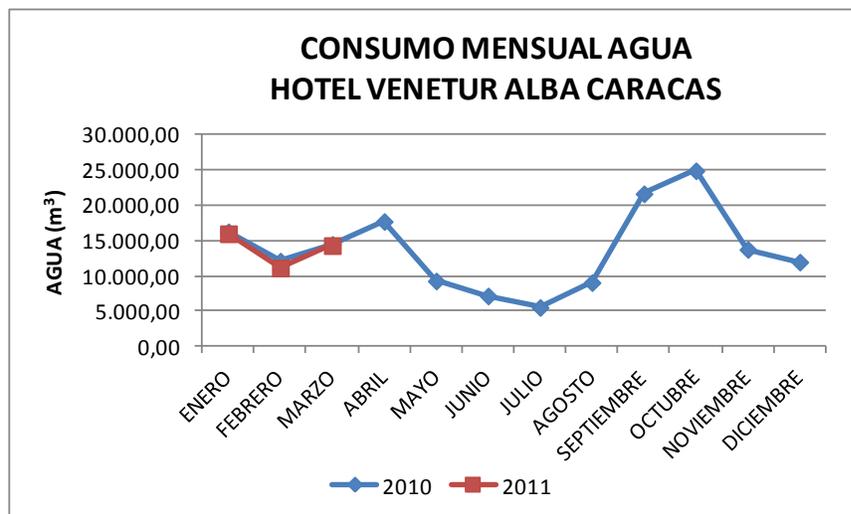


Figura 2.6. Consumo de agua del hotel (Fuente: Hotel Venetur Alba Caracas)

En la tabla 2.5, se resumen los consumos promedio anuales de electricidad, agua y gas.

Tabla 2.5. Consumos promedio anuales de electricidad, agua y gas.

Servicio/Año	Unidad	2009	2010	2011
Electricidad (1)	kWh	957 734,25	911 684,01	937 265,84
Agua (2)	m³	-	13 669,17	-
Gas (3)	m³	-	66 732,92	63 064,22
Gas	MBH(4)	-	3 305,14	3 123,44

Notas:

- (1) Fuente: CORPOELEC
- (2) Fuente: Hotel Venetur Alba Caracas
- (3) Fuente: PDVSA Gas
- (4) MBH = MBTUh

2.2. Evaluación preliminar del uso de la cogeneración o trigeneración

La trigeneración se utiliza en el sector terciario o de servicios, y los usuarios típicos en este sector son, la industria manufacturera, hoteles, hospitales y edificios de oficinas (23). Sin embargo, antes de llegar a la trigeneración se debe evaluar si existe factibilidad de colocar cogeneración en el hotel Venetur Alba Caracas.

En este sentido, la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) de México (23), elaboró un cuestionario donde al responder afirmativamente al menos a cuatro de las doce preguntas, se confirma el hecho que la instalación puede ser candidata a cogenerar y en consecuencia, a trigenerar, dependiendo de la tecnología.

Tomando en cuenta la evaluación previa de los energéticos del hotel, y aún cuando en este momento la política energética en el país no se encuentra encaminada a la colocación de cogeneración o trigeneración en Venezuela en el sector terciario; es prudente realizar esta evaluación preliminar, pues ahora en el país se están empezando a tomar medidas orientadas al uso racional y eficiente de la energía eléctrica y el hotel se considera un alto consumidor de energía. Razón por la cual se puede responder la mayoría de las preguntas planteadas en el cuestionario, elaborado por la CONUEE (24). No obstante, se indica que para el momento de la elaboración de esta tesis, se desconocen las políticas que aplicará el Ministerio de Turismo, en cuanto a remodelación y adecuación del equipamiento existente en el hotel para prestar sus servicios.

En conformidad con la información obtenida por parte del personal del hotel, en el área de ingeniería, se puede conocer si el hotel es candidato a la colocación de cogeneración. Del universo de personas que conforman esta área y del conocimiento y experiencia con más de 10 años, de las personas que lo integran se tomó una muestra de 5 personas. La herramienta usada para determinar si el hotel es candidato o no de usar cogeneración, fue el cuestionario de 12 preguntas

contenido en el documento Oportunidades de Cogeneración Eficiente, elaborada por la CONUEE (24). Se obtuvo como resultado que el hotel es candidato a colocar cogeneración.

De las 12 preguntas, 7 fueron respondidas afirmativamente y 5 no fueron contestadas, con lo cual se verifica el hecho que el hotel es candidato a usar cogeneración, para hacer un uso más eficiente de la energía; según las recomendaciones del documento antes mencionado. En la tabla 2.6 se coloca el cuestionario.

Tabla 2.6. Evaluación de factibilidad a ser candidato a colocar cogeneración. (24)

	Si	No
1. ¿Su demanda térmica es constante durante el año y de un nivel de temperatura menor a 500 °C? (incluyendo vapor, agua caliente, agua helada o aire caliente)		
2. ¿Operan sus instalaciones más de 5 000 horas anuales?		
3. ¿Les cuesta más de USD 1,00 el kWh en promedio?		
4. ¿Les preocupa el impacto a las finanzas de su empresa, del actual y futuro de la energía?		
5. ¿Afecta la confiabilidad en el actual suministro de energía eléctrica a su empresa?		
6. ¿Afecta una falla en el suministro por digamos, una hora de duración?		
7. ¿Implementaron todas las medidas identificadas en el diagnóstico de eficiencia energética y aún siguen teniendo altos costos de energía?		
8. ¿Existe dentro de sus instalaciones alguna planta central de servicios auxiliares, fuerza o de emergencia?		
9. ¿Se tiene planteado reemplazar o rehabilitar el equipo de la planta, mencionado en el punto 8 de esta encuesta, en los próximos 3 a 5 años?		
10. ¿Se tiene contemplado algún proyecto de ampliación o nuevas instalaciones dentro de 5 años?		
11. ¿Existe infraestructura para el suministro del gas natural a su empresa?		
12. ¿Están interesados en reducir el impacto ambiental que producen sus procesos?		

Siguiendo con las orientaciones, del documento Oportunidades de Cogeneración Eficiente, de la CONUEE, se llenará el Cuestionario Básico Estudios de Viabilidad Sector Terciario, para el hotel Venetur Alba Caracas, adaptado a la realidad venezolana; debido a que no se presta servicio de calefacción. El cuestionario se encuentra en el Anexo E, con los datos suministrados por el personal de ingeniería, quienes son los que operan y conocen el equipamiento existente y hacen posibles, la prestación de los servicios que se ofrecen.

La encuesta, consta de varias partes. Una primera parte relacionada con los datos generales del hotel, como son la ubicación física, los nombres y teléfonos de

contacto de las personas encargadas del área de ingeniería y los servicios que proporciona el hotel.

Además se describe las características del hotel, como son el área de construcción, el área climatizada, el número de plantas, el número de cuartos, el porcentaje de ocupación, si existe red de agua caliente sanitaria y la temperatura que se maneja; si consta de una red de acondicionamiento de aire y si hay instalaciones solares con las medidas de los paneles.

En la parte 2, se colocan las condiciones ambientales donde se encuentra el hotel, como son los datos de temperatura, humedad y altura sobre el nivel del mar.

La parte 3, se refiere al programa de trabajo en el cual opera el hotel, factor muy importante a la hora de elegir instalar un sistema de cogeneración; el cual opera los 365 días del año, las 24 horas, repartidos en turnos de trabajo.

En la parte 4, se recogen los datos del suministro de energía eléctrica, en la cual se transcriben los consumos del hotel y cuál empresa proporciona el servicio, en el país es CORPOELEC.

La parte 5, se relaciona con los datos de suministro de combustible, el tipo: gas metano industrial, su poder calorífico, el consumo y la proporción de combustible que se utiliza para vapor, agua caliente, gases calientes, aceite térmico, hornos y otros que existan, dentro del hotel.

En la parte 6, se describe lo relativo a equipos convertidores y usos de la energía térmica. Se escriben los datos de los generadores de vapor, calderas Powermater y los usos que se le da al vapor por tipo de consumidor, con sus flujos medios y presión por cada tipo de consumidor. Se incluye en esta parte, la generación de agua caliente y al igual que con el vapor los usos por tipo de consumidor. También se añade la generación de gases calientes y usos por tipo de consumidor. Los generadores de frío deben describirse, ya sean los tradicionales con compresor y si existen, las máquinas de absorción.

La parte 7, consta de todo lo relacionado con la modulación de la demanda térmica, en verano y en invierno, para las distintas horas del día y la noche, para el vapor, agua caliente, gases calientes y frío, relacionado con la climatización.

En la parte 8, se colocan los históricos de consumo promedio en electricidad y gas.

La parte 9, se relaciona con la energía eléctrica autogenerada y las características del tipo de equipo de generación. Para el caso del país, es un sistema de emergencia para cuando falle el servicio de electricidad, no se considera autogeneración.

En la parte 10, se escriben datos adicionales de la instalación, relacionados con la confiabilidad y costo del servicio eléctrico; además, de las áreas o espacio físico disponible para colocar cogeneración.

La parte 11, se refiere a previsiones a futuro y la parte 12, para consultas, dudas, aclaraciones o sugerencias por parte de la CONUEE en México.

2.3 Conclusiones parciales

- La demanda asignada contratada (DAC) es 1 882 KVA, valor que debe garantizar una unidad de generación, o varias, en caso de suplir toda la demanda del hotel.
- Los requerimientos de vapor y agua caliente del hotel deben garantizarse con el esquema que se seleccione; en consecuencia, a la salida de la caldera, la máxima presión es 620 528,16 N/m² (90 Psig) y el calor (Q) es de 5 928 105,2805 KJ/h.
- Se puede asumir que el comportamiento de los requerimientos de vapor, son iguales a la de otros hoteles; es decir, la demanda empieza a crecer a las 7 de la mañana y comienza a disminuir a las 9 de la noche, diariamente.
- El hotel cuenta con una única unidad enfriadora de agua de 710 TonR, operando al 100 % de su capacidad, todo el año. Las estimaciones preliminares arrojan que se requiere mayor capacidad de climatización y un conocimiento de los ciclos de frío. Si se conoce los ciclos de frío requeridos se

conocen los máximos y los mínimos. En consecuencia, se puede planificar un mantenimiento del único equipo cuando se tenga la mínima demanda de frío para impactar lo menos posible el confort del hotel.

Capítulo III. Estudio de alternativas de plantas de cogeneración y trigeneración para el hotel Venetur Alba Caracas

3.1. Consideración para la selección de propuestas de trigeneración y cogeneración

Cualquier configuración que se desee realizar en el hotel, debe tomar en cuenta los años de explotación de los distintos equipamientos que se encuentran en el hotel. En este sentido, la mayoría del equipamiento tiene más de 30 años de explotación, por lo cual el cambio a tecnologías más eficientes y amigables con el ambiente es lo más recomendable, aún cuando muchos se encuentran en operación.

La trigeneración es un proceso que hace más eficiente un proceso de cogeneración, debido a que el calor residual se aprovecha para generar frío, utilizando máquinas de absorción.

En este epígrafe, dado los resultados obtenidos pueden generarse varias combinaciones.

La selección de la unidad generadora se realiza mediante la relación expresada en la ecuación (3.1) y (3.2), tal como se formula en el documento Metodología para el análisis de pre - viabilidad en los sistemas de cogeneración, elaborado por la CONUEE (25).

$$Q/E = \frac{\text{Consumo anual de energía termica en (kJ)}}{\text{Consumo de energía electrica anual (kWh) x 3600 kJ / kWh}} \quad (3.1)$$

o utilizando las demandas

$$Q/E = \frac{\text{Demanda máxima térmica a cubrir con el sistema en kW}}{\text{Demanda máxima eléctrica a cubrir con el sistema en kW}} \quad (3.2)$$

En el capítulo 2, se determinaron los consumos del hotel y en la tabla 3.1 se resumen los consumos del hotel por kilo vatios, tanto eléctricos como térmicos. Estos datos nos servirán para determinar las combinaciones más adecuadas para colocar el sistema de cogeneración en conjunto con una o varias máquinas de absorción. Para ello se relacionan los kilovatios térmicos con los kilovatios eléctricos.

Tabla 3.1. Consumos del hotel

Item	Unidad	Cantidad
Electricidad	kWe	1 599,70
Carga por climatización en Torre Sur	kWt	1 140,05
Carga por climatización en Torre Norte	kWt	3 126,14
Energía en la caldera	kWt	1 646,69

Con base en estos valores se pueden plantear varios escenarios. La selección de este escenario aparte de considerar la relación Q/E, debe tomar en cuenta que los sistemas de cogeneración no operan a carga constante durante el tiempo de operación, por lo cual el esquema a elegir debe satisfacer la potencia eléctrica o la demanda térmica de acuerdo a la operación del sistema.

En este sentido, se vuelve importante el conocimiento de la duración de los períodos en que se opera a una determinada carga, o bien dentro de un rango de cargas, tanto térmicas como eléctricas. En la tabla 3.2 se muestra la tecnología adecuada de acuerdo al valor de la relación Q/E.

Tabla 3.2. Tecnología de acuerdo a la relación Q/E

Tipo de tecnología	Calor disponible a proceso	Razón térmica – eléctrica Q/E
Turbina de vapor	393,15 K a 673,15 K (119,85 °C a 400 °C)	2 a 30
Turbina de gas	393,15 K a 773,15 K (119,85 °C a 500 °C)	1,2 a 4
Motor recíprocante	353,15 K a 393,15 K (80 °C a 119,85 °C)	0,8 a 2

Nota: La selección de la tecnología depende del calor disponible a proceso.

En la selección del sistema de cogeneración, debe considerarse además, el índice de calor neto (ICN) (26), el cual permite cuantificar el aprovechamiento del combustible para la generación eléctrica.

Este índice denominado también “consumo térmico unitario” o “consumo de combustible para generación eléctrica”, se calcula con la ecuación (3.3)

$$ICN = \frac{Q_s - \frac{Q}{\eta}}{E} \quad (3.3)$$

Donde:

Q_s es el calor suministrado, como combustible al sistema de cogeneración en kW,
 Q es el calor útil proporcionado por el fluido caliente por el sistema de cogeneración en kW,

η es la eficiencia convencional de generación de energía térmica en porcentaje (%) y

E es la generación eléctrica del sistema de cogeneración en kW.

El ICN expresa la cantidad de combustible adicional que se requiere introducir al sistema de cogeneración con respecto al que se consumiría para producir el calor útil requerido mediante sistemas convencionales (por ejemplo una caldera de vapor) y la generación convencional de electricidad mediante unidades termoeléctricas.

Constituye un indicador útil para comparar el comportamiento de distintos esquemas entre sí. Asimismo, el valor del (ICN) no solo depende del sistema de cogeneración, sino también de la aplicación específica a la que se destine, ya que en ella se definirá cuanto calor se tendrá como útil del potencial total que presente dicho esquema.

Se plantearon algunos escenarios posibles, considerando que se suple toda la carga eléctrica del hotel y los escenarios que se especifican a continuación, en cuanto a la carga térmica: escenario A, toda la carga térmica; escenario B, sólo la caldera; escenario C, sólo Torre Norte; escenario D, sólo Torre Sur y escenario E, Torre Norte y Torre Sur. En la tabla 3.3 se indican los escenarios y los correspondientes valores de la relación Q/E.

Tabla 3.3. Relación Q/E para las distintas tecnologías y escenarios considerando suplir toda la demanda eléctrica.

Escenario	Energía Térmica (kWt)	Energía Eléctrica(kWe)	Q/E	Tecnología
A	5 912,88	1 599,7	3,7	Turbina de gas
B	1 646,69	1 599,7	1,03	Motor reciprocante
C	3 126,14	1 599,7	1,95	Motor reciprocante
D	1 140,05	1 599,7	0,71	Motor reciprocante
E	4 266,19	1 599,7	2,67	Turbina de gas

Según el diagrama de Pareto de cargas del hotel, indicado en el capítulo II, el 49,9 % del consumo de electricidad del hotel lo representa el sistema de climatización y de este porcentaje el único chiller con que cuenta el hotel y operando al 100 % de la carga, representa el 42,49 %; por lo que si se propone colocar chillers de absorción cuyo consumo es mucho menor comparado con los chillers de compresor; se pueden sugerir otros escenarios.

Debido a que el consumo del chiller actual es bastante representativo dentro de las cargas eléctricas del hotel, se puede considerar otros escenarios al cambiarlo por máquinas de absorción, por lo cual se puede considerar una o dos unidades generadoras que suplan el 70 % de la carga eléctrica indicada; o suplir el 50 % de la carga eléctrica y mantener los escenarios de carga térmica planteados anteriormente.

Tales escenarios surgen ante la posibilidad de que se puede sobredimensionar la tecnología que se escoja para generar electricidad y la imposibilidad en este momento, que un usuario como el hotel, pueda vender los excedentes de energía eléctrica al sistema eléctrico nacional, porque no existe la ley que permita este tipo de transacciones. En la tabla 3.4 se plantea el escenario supliendo el 70 % de la energía eléctrica y los escenarios antes planteados como A, B, C y D, la razón térmica / eléctrica y la tecnología más adecuada.

Tabla 3.4. Relación Q/E para las distintas tecnologías y escenarios considerando suplir el 70 % de la demanda eléctrica.

Escenario	Energía Térmica (kWt)	Energía Eléctrica (70 %) (kWe)	Q/E	Tecnología
A	5 912,88	1 119,79	5,28	Turbina de vapor
B	1 646,69	1 119,79	1,47	Turbina de gas
C	3 126,14	1 119,79	2,79	Turbina de gas
D	1 140,05	1 119,79	1,02	Motor recíprocante
E	4 266,19	1 119,79	3,81	Turbina de gas

Los resultados de considerar suplir el 50 % de la carga y las combinaciones de carga térmica A, B, C y D, se encuentran en la tabla 3.5 donde además, se incluye la razón térmica / eléctrica y la tecnología más adecuada, para el escenario planteado.

Tabla 3.5. Relación Q/E para las distintas tecnologías y escenarios considerando suplir el 50 % de la demanda eléctrica.

Escenario	Energía Térmica (kWt)	Energía Eléctrica (50 %) (kWe)	Q/E	Tecnología
A	5 912,88	799,85	7,39	Turbina de vapor
B	1 646,69	799,85	2,06	Turbina de gas
C	3 126,14	799,85	3,91	Turbina de gas
D	1 140,05	799,85	1,43	Turbina de gas
E	4 266,19	799,85	5,33	Turbina de vapor

3.2. Selección de la alternativa más adecuada para el hotel en las condiciones actuales

La selección de una alternativa para el hotel en las condiciones actuales, debe considerar que las actividades del hotel no se interrumpan; además de los tiempos de ejecución de las obras a realizarse y los costos de estas inversiones, que incluyen el desmantelar y sacar equipamiento que no se utiliza en este momento, por no encontrarse en el mercado por ejemplo, los refrigerantes para los chillers que no se usan porque ya no se fabrican.

Estas acciones de mejoras y actualizaciones del equipamiento existente con seguridad se realizarían por etapas; sin embargo, el diagnóstico realizado en el hotel y la información que suministró CORPOELEC en cuanto a considerar el hotel

un alto consumidor de energía, conduce a buscar la manera de disminuir el consumo de electricidad, en primera instancia.

La situación del hotel en cuanto a los puntos críticos de funcionamiento, se ubican en la climatización, debido a que sólo cuentan con un chiller. En caso de falla de esta unidad, el hotel queda sin climatización hasta que la unidad entre en funcionamiento. La electricidad se supe por CORPOELEC, y el agua caliente sanitaria (ACS) y vapor se supe con las calderas.

Para disminuir el consumo de electricidad, existen dos opciones que aumentan el consumo de gas: una colocando máquinas de absorción de llama directa, dejando la caldera actual. La otra forma de disminuir el consumo de electricidad y tomando en cuenta la relación Q/E, sería colocar una unidad generadora con recuperadora de calor donde el calor de los gases se utilice para alimentar una máquina de absorción y además obtener agua caliente y vapor, en combinación con una caldera más pequeña de respaldo para requerimientos de vapor y agua caliente en las horas pico, las cuales deben determinarse para el hotel.

Debido a que las remodelaciones deben hacerse por etapas para garantizar el funcionamiento del hotel, se analizará la propuesta de colocar una máquina de absorción de llama directa, que respalde al chiller actual, (opera al 100 % de su capacidad y con un tiempo de explotación de 30 años) dejando el equipamiento existente, con lo cual con seguridad se disminuirá el consumo de electricidad del hotel, al compartirse la climatización entre estas dos unidades.

Se seleccionó la Torre Sur, para ser alimentada por la máquina de absorción debido a que el hotel tiene planes de remodelar esta torre en el futuro y seguir operando con las habitaciones y salones de la Torre Norte.

La máquina de absorción seleccionada es de llama directa y para suplir la carga térmica de Torre Sur con una carga de climatización de 1 140,05 kWt, equivalente a 324,17 TonR. En la tabla 3.6 se indican algunas características de la unidad EcoChill de Thermax (27), de 360 TonR.

Tabla 3.6. Características de máquina de absorción de llama directa, marca Thermax

Modelo Número	Unidades	GD 40A CX OD 40A CX
Capacidad de enfriamiento	TonR	360
Consumo de combustible para enfriamiento	MBH	3 676,3
Suministro eléctrico	kVA	12,7
Tensión de suministro	V	460 ($\pm 10\%$)
Frecuencia	Hz	60
Número de fases		Trifásico con neutro

3.3. Evaluación económica de la alternativa seleccionada y análisis de sensibilidad

Se realizará un análisis económico diferencial, utilizando los consumos de electricidad del chiller actual y la máquina de absorción elegida. Aún cuando no se tiene separado el consumo de electricidad que usa el chiller para climatizar la Torre Norte y la Torre Sur, se realizará una estimación proporcional para obtenerlo y éste será el valor que se comparará con el consumo de la máquina de absorción.

Según datos del censo de carga, el consumo del chiller actual es de 220 038 kWh/mes. Haciendo una proporción lineal, se obtiene un valor estimado de consumo mensual para la Torre Sur. En la tabla 3.7 se especifican los datos estimados de consumo para climatizar la Torre Sur, con el chiller en funcionamiento en el hotel.

El costo de operación y mantenimiento se consideró cero, debido a que la unidad a pesar de recibir mantenimiento por parte del personal de ingeniería, es una máquina que desde el punto de vista contable tiene valor cero.

Tabla 3.7. Datos del chiller actual estimados para Torre Sur

Descripción	Unidad	Cantidad
Carga térmica	TonRh/mes	233 402,00
Consumo eléctrico estimado	kWh/mes	58 800,00
Demanda eléctrica estimada	kVA	96,06
Costo (de operación y mantenimiento)	USD(*)	0,00

(*) USD: dólar estadounidense (28)

El precio de la máquina de absorción se estimó considerando los datos obtenidos de una empresa ubicada en Monterrey, México (29). El detalle se encuentra en el anexo C. Se hace el supuesto que son precios de 2012.

Los demás datos se tomaron de los datos del equipo suministrados por el fabricante Thermax.

Tabla 3.8. Datos de la máquina de absorción marca Thermax

Descripción	Unidad	Cantidad
Capacidad de enfriamiento	TonR	360,00
Consumo eléctrico	kWh/mes	7 772,40
Demanda	kVA	12,7
Costo estimado	USD	42 241,09
Consumo de calor para enfriamiento	MBH(*)	3 676,3

(*) 1 MBH = 1000 BTU/h

Los datos para el estudio económico se realizaron considerando dos situaciones: uno, los precios de la energía eléctrica y dos, los precios del petróleo.

Esta deferencia se ejecuta debido a que las tarifas de la energía eléctrica (30) en el país se encuentran congeladas desde el año 2002, lo que arroja resultados, desde el punto de vista económico, no rentables de ser implementados, según la experiencia en estos temas. No obstante, muchos estudios no sólo son afectados por la parte económica, existen otros factores como son la disminución de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) al disminuir el consumo de energía eléctrica y los costos involucrados en recuperar áreas verdes que son sumideros de CO₂ entre otras externalidades que forman parte de un proyecto. En la tabla 3.9 se encuentran los datos económicos a utilizarse en el análisis económico.

Tabla 3.9. Datos para el análisis económico

Item	Unidad	Cantidad
Precio de la energía	USD/kWh	0,01052535
Precio de la demanda	USD/kVA	1,86679486
Precio promedio del gas	USD/m³	0,06
Valor calórico promedio del gas metano industrial	MBTU/m³	35,6
Inflación de la energía	% anual	0
Impuestos sobre la ganancia	% anual	35
Interés bancario	% anual	16,75
Margen de riesgo	% anual	0
Precio del petróleo (15 de junio 2012)	USD/barril	92,06
Consumo específico de combustible	Barriles/kWh	0,001805

Según el Banco Central de Venezuela (31), el interés bancario para el mes de junio 2012, es 16,75 %. Se hará un análisis de sensibilidad por lo cual se considerará tasas de 10 % por encima (18,43 %) y 10 % por debajo del valor citado (15,08 %).

El riesgo país en Venezuela pudiese encontrarse cercano al 10 %, pero considerando que el hotel ahora es una institución del estado, perteneciente al Ministerio de Poder Popular para el Turismo, se considera el margen de riesgo 0 %, debido a que el país siempre honra las deudas.

Considerando el precio del barril de petróleo para el análisis, también se realizará un análisis de sensibilidad, donde se tomará 10 % por encima (101,27) y 10 % por debajo del valor (91,14) que tuvo el precio del barril venezolano el 15 de junio 2012. Se mantendrá el interés bancario en 16,75 %.

En vista de que no se tiene la certeza de la actualidad de los precios mostrados en la página de la empresa de Monterrey, se considerará variar el precio de la máquina de absorción. Se considerará un aumento de su precio en 25 %, 50 % y 100 %.

Adicionalmente, se hará el ejercicio de valorar la máquina de absorción a 200 000,00 USD, 150 000,00 USD y 100 000,00 USD, para evaluar hasta cuando no es rentable su adquisición. Se mantendrá el interés bancario en 16,75 % y el precio del barril de petróleo a 92,06. A continuación los resultados.

- Evaluación económica de colocar una máquina de absorción, valorada en USD 42 241,09, variando las tasas de interés, con los precios de la electricidad en Venezuela, que se han mantenido invariables desde el año 2002 hasta el 2012. En la tabla 3.10 se muestran los resultados.

Tabla 3.10. Evaluación económica variando las tasas de interés bancario con las tarifas de la electricidad en Venezuela

Valor Presente Neto (USD)	Tasa de interés (%)	Año en que se recupera la inversión
48 899	15,08	4
43 394	16,75	4
38 384	18,43	4

En la figura 3.1 se muestran gráficamente los resultados obtenidos con las condiciones expuestas. Se observa que a mayor tasa el valor presente neto disminuye. La mejor opción desde el punto de vista del valor presente neto, es el que tiene el valor más alto USD 48 899 y éste corresponde con una tasa de 15,08 %. El tiempo de recuperación 4 años.

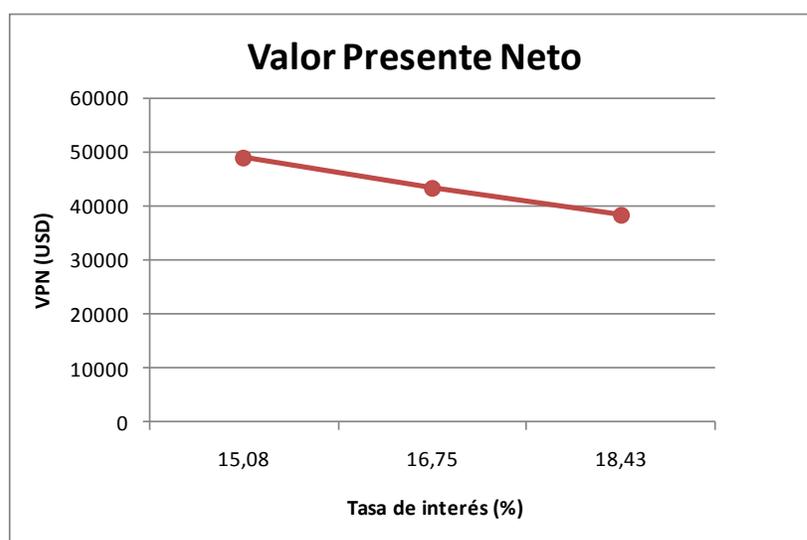


Figura 3.1. Valor Presente Neto

En la figura 3.2 se grafica el flujo de descuento acumulado versus los años en el cual se recupera la inversión para las condiciones señaladas. La mejor opción es con una tasa de 15,08%.

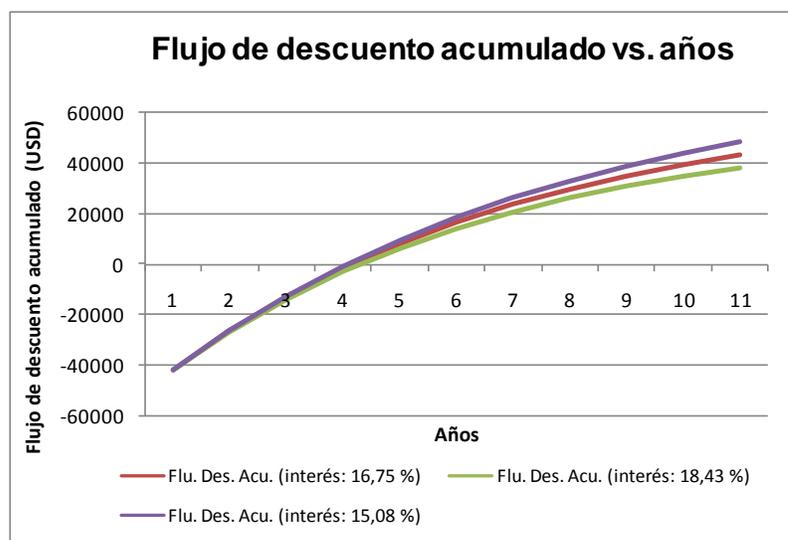


Figura 3.2. Flujo de descuento acumulado versus años

- Evaluación económica de colocar una máquina de absorción, cuyo valor se varía en 25, 50 y 100 % del precio original de USD 42 241,09 manteniendo la tasa de interés en 16,75 %, con los precios de la electricidad en Venezuela. En la tabla 3.11 se muestran los resultados.

Tabla 3.11. Evaluación económica variando el precio de la máquina de absorción con las tarifas de la electricidad en Venezuela

Valor Presente Neto (USD)	Precio de la máquina de absorción (USD)	Tasa de interés (%)	Año en que se recupera la inversión
43 394	42 241	16,75	4
34 571	52 801	16,75	5
25 748	63 362	16,75	6
8 103	84 482	16,75	9

En la figura 3.3 se muestran en forma gráfica los resultados obtenidos. Se observa que a mayor precio de la máquina de absorción el valor presente neto disminuye. La mejor opción en este escenario es con el valor más bajo de la máquina de absorción USD 42 241, ya que con esta selección el valor presente neto es más alto USD 43 394. El tiempo de recuperación es igual a 4 años como en el caso anterior.

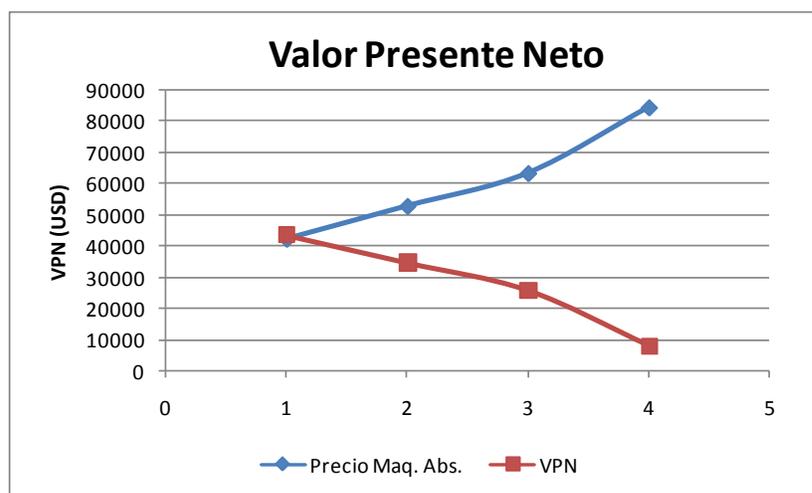


Figura 3.3 Valor presente neto versus variación del precio de la máquina de absorción.

En la figura 3.4 se grafica el flujo de descuento acumulado versus los años en el cual se recupera la inversión para las condiciones indicadas. Con el precio más bajo de la máquina de absorción se obtiene el valor presente neto más alto de USD 43 394. La peor opción cuando la máquina de absorción tiene un costo de USD 84 482.

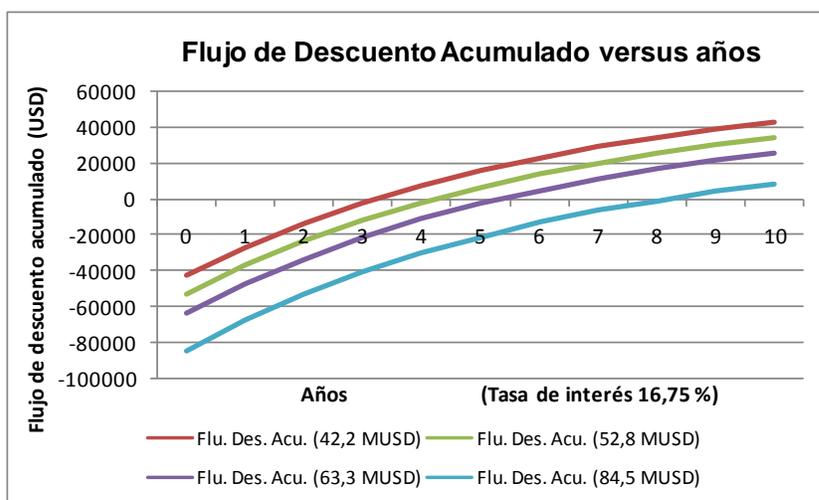


Figura 3.4. Valor presente neto versus variación del precio de la máquina de absorción con los precios de la electricidad en Venezuela.

- Evaluación económica de colocar una máquina de absorción, valorada en USD 42 241,09, variando el precio del barril del petróleo, con la tasa de interés en 16,75 % que se tiene para junio 2012. En la tabla 3.12 se muestran los resultados.

Tabla 3.12. Evaluación económica variando el precio del barril de petróleo en Venezuela

Valor Presente Neto (USD)	Precio del barril de petróleo (USD)	Año en que se recupera la inversión
109 159	82,85	3
112 265	92,06	2
143 366	101,27	2

La gráfica de los resultados se indica en la figura 3.5. Se observa que a menor precio del barril de petróleo el valor presente neto disminuye. La mejor opción es

cuando el valor presente neto es más alto USD 143 366 y el precio del barril de petróleo en USD 101,27, con un tiempo de recuperación de la inversión en 2 años.

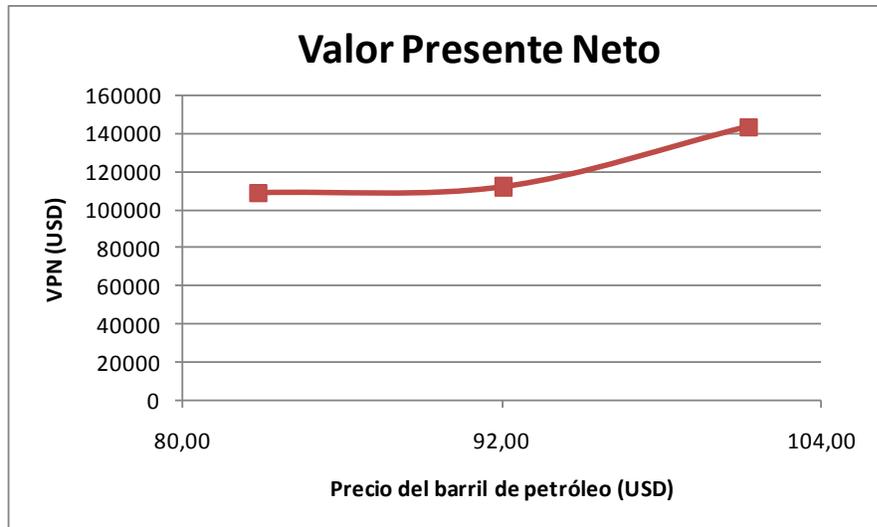


Figura 3.5. Valor presente neto versus variación del precio del barril de petróleo

En la figura 3.6 se muestra el flujo de descuento acumulado versus los años en el cual se recupera la inversión. La mejor opción precio del barril en USD 101,27.

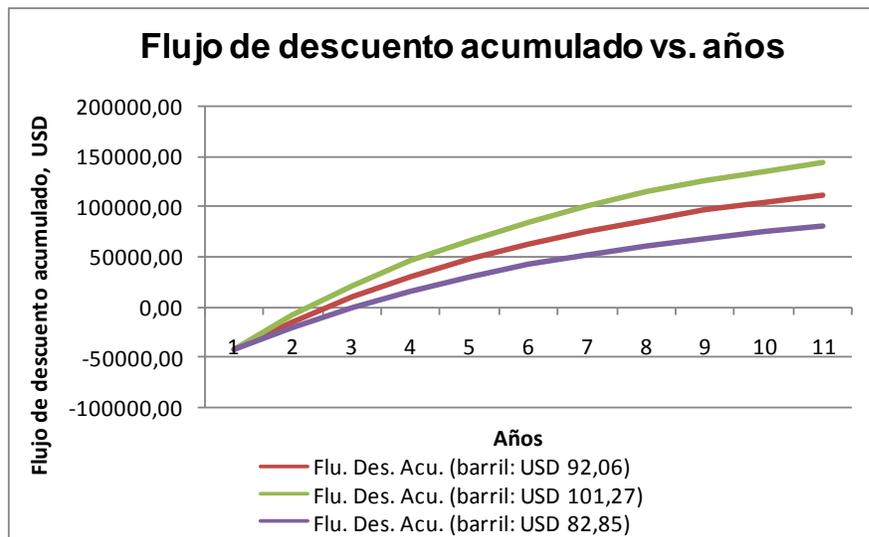


Figura 3.6. Flujo de descuento acumulado versus años y variando los precios del barril de petróleo

- Evaluación económica de colocar una máquina de absorción, con los precios del barril de petróleo en Venezuela en USD 92,06 y variando el precio de la máquina de absorción valorada en USD 42 241,09. En la tabla 3.13 se muestran los resultados.

Tabla 3.13. Evaluación económica variando el precio de la máquina de absorción

Valor Presente Neto (USD)	Precio de la máquina de absorción (USD)	Precio del barril de petróleo (USD)	Año en que se recupera la inversión
112 265	42 241	92,06	2
103 443	52 801	92,06	2
94 620	63 362	92,06	3
76 975	84 482	92,06	4
64 010	100 000	92,06	5
22 238	150 000	92,06	8
-19 535	200 000	92,06	> 10

La mejor opción nuevamente, es cuando el valor presente neto es más alto USD 112 265, la unidad de absorción con el precio más bajo USD 42 241 y el tiempo de recuperación 2 años. Los resultados en forma gráfica se señalan en la figura 3.7. Se observa que a mayor precio de la máquina de absorción el valor presente neto disminuye hasta hacerse negativo.

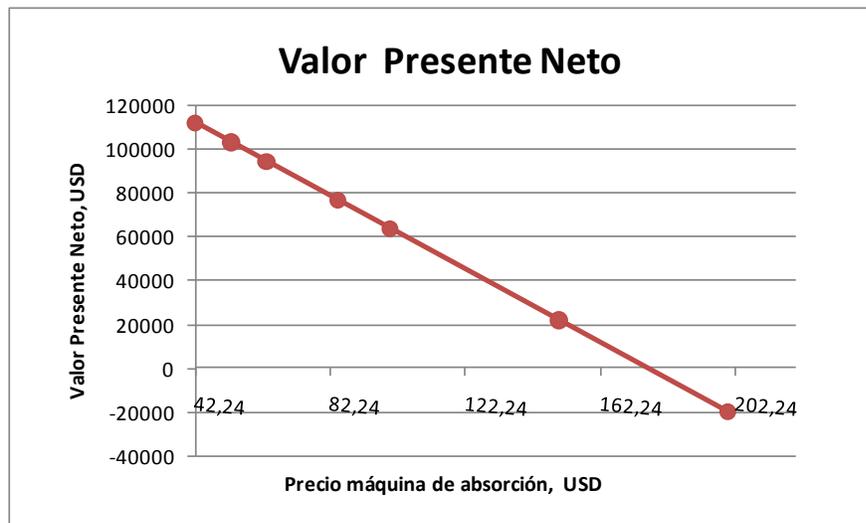


Figura 3.7. Valor presente neto versus variación del precio de la máquina de absorción

En la figura 3.8 se grafica el flujo de descuento acumulado versus los años en el cual se recupera la inversión.

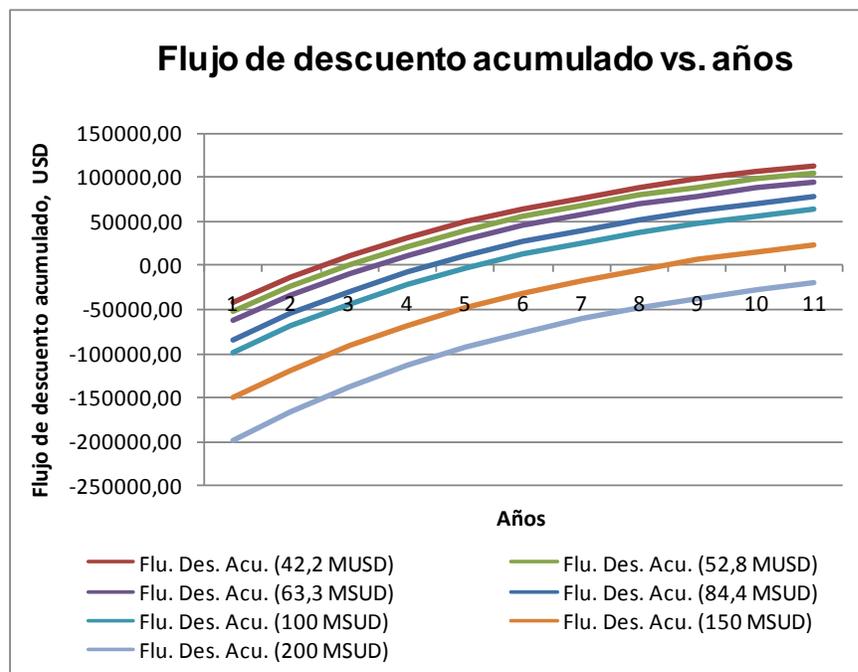


Figura 3.8. Flujo de descuento acumulado versus años y variando los precios de la máquina de absorción.

Resumiendo los resultados obtenidos, los mejores Valor Presente Neto (VPN) obtenidos para las propuestas planteadas son:

Utilizando los precios de la electricidad, y con precio de la máquina de absorción en USD 42 241,09, si se varía la tasa de interés, la mejor opción de tasa es 15,08 %. Si la tasa se mantiene en el valor de junio 2012, la mejor opción es con el precio de la máquina de absorción en USD 42 241,09. Los años de recuperación para ambos escenarios 4 años. La tabla 3.14 muestra los resultados de estos escenarios.

Tabla 3.14. Mejores opciones de VPN considerando los precios de la electricidad

Precio de la máquina de absorción (USD)	Tasa de interés (%)	VPN (USD)	Años de recuperación
42 241,09	15,08	48 899	4
42 241,09	16,75	43 394	4

Utilizando el precio del barril de petróleo y manteniendo la tasa de interés 16,75 % de junio 2012, si se varía el precio del barril de petróleo la mejor opción es con el precio de la máquina de absorción en USD 42241,09. Si se mantiene el precio del barril de petróleo en USD 92,06 el VPN más alto se obtiene con el precio de la máquina de absorción USD 42 241,09. En la tabla 3.15 se resumen los resultados.

Tabla 3.15. Mejores opciones de VPN considerando los precios del barril de petróleo

Precio de la máquina de absorción (USD)	Precio del barril de petróleo (USD)	VPN (USD)	Años de recuperación
42 241,09	101,27	143 366	2
42 241,09	92,06	112 265	2

3.4. Conclusiones parciales

- Al determinarse los valores de la energía en kilo vatio (kW) eléctricos y térmicos, para la electricidad, climatización y caldera utilizadas por el hotel respectivamente, se formularon varias propuestas de cogeneración que en combinación con una o varias máquinas de absorción, permite la disminución del consumo de electricidad y por ende, del sistema de trigeneración a implementarse.
- La selección del equipamiento debe ser tal que el espacio disponible dentro de las instalaciones del hotel permita el cambio de tecnología y con los niveles permisibles de ruido.
- Debido a que el hotel debe seguir en funcionamiento y se debe disminuir el consumo de electricidad, ya que a pesar de las medidas que se han tomado para reducir la demanda no se han logrado los objetivos de reducir el consumo en un 20 %; se evaluó la alternativa de colocar una máquina de absorción de llama directa que usa gas, tomando en cuenta que en el hotel existe una estación de gas, para ayudar al único chiller existente. Para la elección de la máquina de absorción se consideró la carga de climatización calculada para la Torre Sur.
- Las máquinas de absorción tienen un consumo de energía eléctrica mucho menor comparado con un chiller de compresor. El hotel al disminuir el consumo de energía eléctrica, contribuye en la disminución de la producción de CO₂ propio de generar electricidad con las plantas eléctricas de CORPOELEC. En el caso analizado, el CO₂ dejado de emitir es de 121 583,76 kg, por incorporar la máquina de absorción seleccionada.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

- Las instalaciones hoteleras son apropiadas para la introducción de esquemas de trigeneración al presentar necesidades de calor, frío y electricidad para la satisfacción de las necesidades de sus clientes con demostradas ventajas. Los esquemas de trigeneración más utilizados emplean tecnologías como micro - turbinas y turbinas de gas o motores de combustión interna a gas, con sistemas de absorción de agua/bromuro litio para la producción de frío en sistemas de climatización. Las limitaciones de la implantación de estas tecnologías en Venezuela, radican principalmente en la falta de políticas de incentivos a su utilización, los bajos costos de la electricidad y la falta de legislación requerida.
- En cuanto al equipamiento del hotel, el servicio de electricidad es suministrado por CORPOELEC, los requerimientos de gas para la caldera son suplidos por PDVSA gas. El servicio de agua es proporcionado por HIDROCAPITAL. Se cuenta con dos calderas, donde una es de respaldo, que suple los requerimientos de vapor y agua caliente y una unidad de chiller para climatizar el hotel. El consumo de electricidad del hotel son 1 599, 70 kWe, la carga por climatización en Torre Norte y Torre Sur son 3 126,14 y 1 140, 05 kWt respectivamente, la energía en la caldera es de 1 646, 69 kWt.
- El esquema de trigeneración más conveniente debe considerar que la relación Q/E sea tal que se ajuste a los requerimientos del hotel, de forma que se supla la energía eléctrica del hotel para aprovechar mejor la unidad generadora operando en el nivel óptimo de rendimiento. Esta salvedad se indica, debido a que al usar máquinas de absorción para climatizar, el consumo del hotel disminuirá considerablemente porque en estos sistemas existen bombas en lugar de compresores.
- Debido a que el hotel debe seguir en funcionamiento y se debe disminuir el consumo de electricidad, se evaluó la alternativa de colocar una máquina de

absorción de llama directa que usa gas. La selección de esta máquina se hizo tomando como referencia la carga de climatización de la Torre Sur y tiene un consumo de energía eléctrica mucho menor comparado con un chiller de compresor. El CO₂ dejado de emitir es de 121 583,76 kg, por incorporar la máquina de absorción seleccionada.

- Tomando en cuenta los precios de la electricidad, los cuales se han mantenido sin variación desde el 2002 hasta la fecha; en el primer caso, se consideró variar la tasa de interés 10 % por encima y por debajo del valor de junio de 2012 de 16,75 %, obteniéndose el VPN más alto de USD 48 899, con un tiempo de recuperación de 4 años y el precio de la máquina de absorción USD 42 241,09. El otro escenario manteniendo la tasa de interés en 16,75 %, arroja el VPN más elevado de USD 43 394, con un tiempo de recuperación de 4 años y el precio de USD 42 241,09.
- Utilizando el precio del barril de petróleo y manteniendo la tasa de interés en 16,75 %, también se plantearon dos escenarios. En el primer caso, se consideró variar el precio del barril de petróleo 10 % por encima y por debajo del valor de junio de 2012 de 92,06, resultando el VPN más alto de USD 143 366, con un tiempo de recuperación de 2 años y el precio de la máquina de absorción USD 42 241,09. El otro escenario manteniendo el precio del barril de petróleo en 92,06, arroja el VPN más elevado de USD 112 265, con un tiempo de recuperación de 2 años y el precio de USD 42 241,09.

RECOMENDACIONES

RECOMENDACIONES

- El conocimiento en detalle de los comportamientos de los consumos del hotel contribuye a elegir el sistema de trigeneración que más se ajusta a los requerimientos del hotel. En este sentido, se requiere **conocer con más detalle, el comportamiento de la demanda diaria de vapor**, el cual se usa en el área de planchado y para producir el agua caliente sanitaria que usa el hotel; de igual manera, identificar el comportamiento de la demanda diaria de agua caliente sanitaria. No sólo en la época de verano sino también en la época de lluvia o invierno.
- Colocar medidores para registrar flujo de agua caliente sanitaria y vapor. Para el vapor colocar medidores que midan la presión en los distintos puntos de entrega donde se usa, como es la zona del área de planchado y las marmitas en la cocina. Colocar medidor de flujo de agua en la caldera.
- Hacer un seguimiento de los consumos de gas, electricidad y agua, según las facturas, para determinar cuando ocurren picos de demanda durante el año, de forma de comprobar el valor base de consumo, a lo largo del año.
- Hacer un estudio más exhaustivo de la carga de climatización del hotel, actualizado al clima en la ciudad que se ha elevado respecto a la época cuando se construyó el hotel.
- El estado venezolano debe incentivar la colocación de este tipo de sistemas que contribuyen al uso racional de la energía.
- Se debe difundir los resultados de la investigación a la gerencia del hotel y a la dirección de Uso Racional y Eficiente de la Energía en el Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Diccionario de la Real Academia Española. *DRAE*. [En línea] [Citado el: 19 de Enero de 2011.] <http://buscon.rae.es/draeI/>.
2. [En línea] Oscar Aguilar ¿Qué es cogeneración? Primera parte: Definiciones. [Citado el: 19 de Febrero de 2011.] http://www.energia.org.mx/IMG/pdf/Que_es_Cogeneracion_I_v01.pdf.
3. **Borroto N., Anibal y Borroto B., Anibal J.** *Sistemas de Cogeneración*. Cuba : Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente. Universidad de Cienfuegos Carlos Rafael Rodríguez, 1999. págs. 2,3 y 4.
4. [En línea] Sutton Tomas Wood. [Citado el: 8 de Mayo de 2011.] <http://www.energy.rochester.edu/bio/wood>.
5. [En línea] Oliver Evans. [Citado el: 08 de Mayo de 2011.] <http://www.infoplease.com/ipa/A0906797>.
6. [En línea] Morris Pierce. Resumen histórico de la cogeneración. [Citado el: 19 de Febrero de 2011.] http://www.conuee.gob.mx/wb/CONAE/CONA_764_historia_de_la_cogen.
7. [En línea] Charles Edward Emery. [Citado el: 12 de Abril de 2011.] http://en.wikipedia.org/wiki/Charles_Edward_Emery.
8. [En línea] Charles E. Emery. [Citado el: 12 de Abril de 2011.] <http://www.energy.rochester.edu/bio/emery>.
9. [En línea] Historia de las Fuerzas Armadas Alemanas en la II Guerra Mundial. . [Citado el: 12 de Abril de 2011.] <http://panzertruppen.org/ww2/1945/cronologia1945.html>.
10. [En línea] Crisis del petróleo de 1973. [Citado el: 19 de Febrero de 2011.] http://es.wikipedia.org/wiki/Crisis_del_petr%C3%B3leo_de_1973.
11. [En línea] La política exterior de Venezuela desde 1958 hasta la actualidad. [Citado el: 19 de Febrero de 2011.] <http://www.rena.edu.ve/cuartaEtapa/historia/tema16.html>.
12. [En línea] Marco Geopolítico. [Citado el: 12 de Abril de 2011.] <http://www.tecnociencia.es/especiales/petroleo/petroleo2.htm>.
13. [En línea] Organización de Países Exportadores de Petróleo. [Citado el: 12 de Abril de 2011.] http://es.wikipedia.org/wiki/Organizaci%C3%B3n_de_Pa%C3%ADses_Exportadores_de_Petr%C3%B3leo.
14. [En línea] Richard Nixon. [Citado el: 12 de Abril de 2011.] http://es.wikipedia.org/wiki/Richard_Nixon.
15. [En línea] 22/09/2010: Cronología del Precio del Oro 1971 - 2010. [Citado el: 12 de Abril de 2011.] <http://blog.pucp.edu.pe/item/111540/cronologia-del-precio-del-oro-1971-2010>.

16. [En línea] Trigeneración. [Citado el: 19 de Febrero de 2011.] <http://es.wikipedia.org/wiki/Trigeneraci%C3%B3n>.
17. [En línea] COGENERACIÓN. [Citado el: 12 de Abril de 2011.] <http://dis-maje.com/co-trigeneraci%C3%B3n>.
18. **Marimón Sarmiento, Miguel Angel.** Modelización y Análisis Energético de Configuraciones de Trigeneración en Edificios. Tesis Doctoral. [En línea] Julio de 2011. [Citado el: 17 de Octubre de 2011.] <http://tdx.cat/bitstream/handle/10803/37356/M.%20MarimónTesis.pdf?>.
19. Saunier Duval. [En línea] [Citado el: 15 de Junio de 2011.] <http://www.saunierduval.es/para-el-profesional/documentacion-y-programas/utilidades-1/>.
20. *energuia*. [En línea] Cálculo de cargas térmicas totales de refrigeración para la climatización de una vivienda. [Citado el: 31 de Julio de 2009.] <http://www.mcatronic.com/Documentacion/Construccion/climatizacion%20de%20vivienda.pdf>.
21. Norma Venezolana Covenin. *Norma Covenin 2220-87. Símbolos convencionales y esquemas de distribución para instalaciones de energía térmica*. Caracas, Venezuela : s.n., 1987.
22. Powermaster México. [En línea] Calderas Powermaster. [Citado el: 27 de Mayo de 2011.] <http://www.powermaster.com.mx/>.
23. [En línea] Oportunidades de Cogeneración Eficiente. [Citado el: 21 de Octubre de 2011.] http://www.conuee.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/7369/8/cogeneracion_eficiente.pdf.
24. CONUEE Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía México. Oportunidades de Cogeneración Eficiente. [En línea] [Citado el: 24 de Abril de 2011.] http://www.conuee.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/7369/8/cogeneracion_eficiente.pdf.
25. CONUEE Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía México. Metodología para el análisis de previabilidad en los sistemas de cogeneración. [En línea] Julio de 1999. [Citado el: 20 de Junio de 2011.] http://www.conuee.gob.mx/wb/CONAE/CONA_402_metodologia_de_cogen.
26. CONUEE Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía México. Parámetros de diseño y comportamiento. [En línea] [Citado el: 22 de Junio de 2011.] http://www.conuee.gob.mx/wb/CONAE/CONA_573_parametros_de_diseno?page=3.
27. Thermax. Fuel Driven Vapour Absorption Chiller. [En línea] [Citado el: 18 de Marzo de 2012.] <http://www.thermaxindia.com/Absorption-Cooling/Products/Vapour-Absorption-Machines/Fuel-Driven-Vapour-Absorption-Machine.aspx>.

28. Wikipedia, Abreviatura. [En línea] [Citado el: 20 de Mayo de 2012.]
<http://es.wikipedia.org/wiki/Abreviatura>.
29. Refrigeración Especializada de Monterrey. [En línea] [Citado el: 24 de Junio de 2012.]
<http://www.refespmtty.com/b3.htm>.
30. Resolución conjunta RC N° 089 y 055, mediante la cual se fijan las tarifas máximas que aplicarán las empresas eléctricas que en ella se mencionan a los consumos de energía eléctrica. *Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela*. Caracas : Imprenta Nacional, 2002. N° 37415.
31. Banco Central de Venezuela. [En línea] [Citado el: 27 de Junio de 2012.]
<http://www.bcv.org.ve/>.
32. [En línea] Tecnologías de Cogeneración. Juan Francisco Montiel. [Citado el: 8 de Mayo de 2011.]
http://www.conae.gob.mx/wb/CONAE/CONA_544_tecnologias_de_cogen.
33. [En línea] High Efficiency Trigeration Systems for Buildings. Kyle Gluesenkamp, Reinhard Radermacher, Yunho Hwang. [Citado el: 23 de Octubre de 2011.]
<http://six6.region-stuttgart.de/sixcms/media.php/773/ABS-49-Reinhard-Radermacher.pdf>.
34. [En línea] La refrigeración en ciclo de ABSorción. [Citado el: 24 de Octubre de 2011.]
<http://www.icogen-sa.com/index.php/eficiencia-energetica/-refrigeracion-termica/ciclo-de-absorcion.html>.
35. [En línea] Refrigeración por aDSorción. [Citado el: 23 de Octubre de 2011.]
http://www.caib.es/conselleries/industria/dgener/user/portaenergia/pla_eficiencia_energetica/climatitzacio_3.es.html.
36. [En línea] Frío, reacciones químicas y energía solar: Tecnología frigorífica. Dr. Isaac Pilatowsky Figueroa. Centro de Investigación de Energía de la UNAM. [Citado el: 23 de Octubre de 2011.]
http://hypatia.morelos.gob.mx/index.php?option=com_content&task=view&id=517&Itemid=451.
37. Cold from Heat with Adsorption Chillers. [En línea] [Citado el: 25 de Octubre de 2011.]
http://www.sortech.de/content/documents/2%20Broschure_SorTech%20AG_0310.PDF.
38. InvenSor. [En línea] [Citado el: 25 de Octubre de 2011.]
<http://www.invensor.com/es/productos/ltc-low-temperature-chillers.htm>.
39. Green Adsorption Chiller. [En línea] [Citado el: 25 de Octubre de 2011.]
<http://www.greenchiller.biz/homeofgreenchiller.html>.
40. InvenSor. [En línea] [Citado el: 25 de Octubre de 2011.]
<http://www.invensor.com/es/productos/htc-high-temperature-chillers.htm>.
41. Hot Water Powered Adsorption Chiller. [En línea] [Citado el: 25 de Octubre de 2011.]
<http://www.emissionless.com/dloads/aDsorption%20chiller.pdf>.

42. Ministerio del Ambiente . [En línea] [Citado el: 19 de 06 de 2012.]
<http://www.minambiente.gov.co/documentos/Guia5.pdf>.
43. Media.msanet. [En línea] [Citado el: 18 de Junio de 2012.]
<http://media.msanet.com/NA/Mexico/Boletines/PeligrossobrelaLiberaciondeAmoniaco.pdf>.
44. [En línea] Wikipedia. [Citado el: 12 de 06 de 2012.]
<http://es.wikipedia.org/wiki/Balastro>.
45. [En línea] Diccionario de la Lengua Española. [Citado el: 12 de Junio de 2012.]
http://buscon.rae.es/draeI/SrvltConsulta?TIPO_BUS=3&LEMA=balasto.
46. Wikipedia. [En línea] [Citado el: 12 de Abril de 2011.]
<http://es.wikipedia.org/wiki/Fueloil>.
47. **PEMEX**. PEMEX Petróleos Mexicanos. [En línea] [Citado el: 5 de Junio de 2012.]
<http://www.pemex.com/index.cfm?action=content§ionid=111&catid=11181>.
48. Magnetrol. [En línea] Tratamiento de gas amargo. [Citado el: 5 de Junio de 2012.]
<http://mx.magnetrol.com/applications.aspx?application=259&button=32>.
49. Gas Natural . [En línea] [Citado el: 5 de Junio de 2012.] <http://profesores.fib.unam.mx/13prof/Carpeta%20energ%EDA%20y%20ambiente/Gas%20Natural.pdf>.
50. alvp_1101. [En línea] Gas Natural. [Citado el: 5 de Junio de 2011.]
<http://quimicacompuestorganicos.blogspot.com/2009/08/gas-natural.html>.
51. [En línea] Definicion.de. [Citado el: 5 de Junio de 2012.] <http://definicion.de/gas-natural/>.
52. Noticias 24. [En línea] [Citado el: 26 de Junio de 2012.]
<http://economia.noticias24.com/noticia/11504/venezuela-muestra-el-indice-de-riesgo-pais-mas-alto-entre-las-naciones-emergentes/>.
53. La guia de Venezuela. [En línea] [Citado el: 27 de Junio de 2012.]
<http://www.guia.com.ve/noti/20624/riesgo-pais-de-venezuela-es-el-segundo-mas-alto-del-mundo>.
54. **Cejudo López, José M., Rodríguez García, Eduardo y Serrano Casares, Francisco.** Proyecto De Refrigeración Solar Mediante Desecantes Sólidos. [En línea] [Citado el: 23 de Octubre de 2011.] http://www.riraas.net/documentacion/CD_01/PRE-MALAGA.pdf.
55. **Humberto, Vidal y Colle, Sergio.** SIMULACIÓN HORARIA DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN COMBINADO. 2009. [En línea] [Citado el: 23 de Octubre de 2011.] <http://www.scielo.cl/pdf/ingeniare/v17n1/art07.pdf>.
56. **Palomino, Roderick y Vidal, Humberto.** Simulación de un sistema de refrigeración solar en dos etapas con ciclo de compresión mecánica y ciclo eyector para producción autónoma de hielo. [En línea] [Citado el: 24 de Octubre de 2011.]
http://www.ecodesarrollo.cl/descargas/palomino_vidal.pd.

ANEXOS

Anexo A. Tecnologías de cogeneración

En este anexo se resumen desde las primeras tecnologías hasta las más actuales, resultado de investigaciones y desarrollos; además el estado del arte en algunas de ellas.

Con turbinas de vapor

Donde la energía mecánica se produce con una turbina de vapor (32). Las turbinas de vapor se dividen en tres tipos: a contrapresión, a extracción y a condensación. Se aplican en aquellas instalaciones en las que la necesidad de energía térmica respecto a la eléctrica es de 4 a 1 o mayor.

Con turbinas de gas

Utiliza una turbina de gas (32), cuyos gases de escape tienen una temperatura que va de 773,15 K a 923,15 K (500 a 650 °C), aprovechable en procesos de secado o para procesos de combustión posteriores, ya que tienen un contenido de oxígeno de alrededor del 15 %. Este esquema se utiliza en procesos que requieren de una gran cantidad de energía térmica, o en relaciones de calor/electricidad mayores a 2.

Con ciclo combinado

Este esquema usa una turbina de gas y una turbina de vapor (32). En este sistema los gases producidos en la combustión de la turbina de gas, se emplean para producir vapor a alta presión mediante una caldera de recuperación, para luego, alimentar la turbina de vapor. Se aplica en procesos donde la razón electricidad/calor es mayor a 6.

Con motor alternativo

Se genera la mayor cantidad de energía eléctrica por unidad de combustible consumido, del 34 al 41 %. Los gases residuales son a baja temperatura, entre 473,15 K a 523,15 K (200 y 250 °C) y con éstos se puede producir vapor a baja

presión entre 10 a 15 kg/cm² o agua caliente de 353,15 K a 373,15 K (80 a 100 °C). (32)

Sus tamaños van desde unos pocos kilovatios a más de 10 MW y se activan con una variedad de combustibles. Hay dos tipos básicos de motores alternativos, los de encendido por chispa ((SI-ICE) spark ignition internal combustion engine y los de encendido por compresión ((ICE) – reciprocating- internal combustion engine y (CI-ICE) compression ignition internal combustion engine) (33). Los motores de encendido por chispa utilizados para la generación de energía utilizan preferiblemente gas natural como combustible de trabajo, aunque pueden ser adaptados para funcionar con propano, gasolina o biogás. Los motores de encendido por compresión, llamados comúnmente los motores diesel, operan con gasóleo o diesel y pueden ser configurados para utilizar dos combustibles. (18).

La generación actual de motores a gas natural ofrece un bajo costo inicial, una rápida puesta en marcha, una fiabilidad demostrada con un mantenimiento adecuado y un gran potencial de recuperación de calor residual. Tienen como desventajas niveles de ruido relativamente elevados, altas emisiones al ambiente y necesidad de mantenimientos regulares de alto costo. (18)

Estado del arte en motores alternativos de combustión interna

Existen en el mercado una gran cantidad de fabricantes de motores alternativos de combustión interna de elevada potencia, no obstante el mercado más innovador referente a estos motores es el de la micro - cogeneración (18).

La micro - cogeneración se refiere a las tecnologías de cogeneración basadas en pequeños motores alternativos a gas o con otros combustibles, que se caracterizan por generar una pequeña potencia eléctrica. La tabla 1.1 muestra distintos modelos de motores de combustión interna y sus prestaciones técnicas por fabricante.

Tabla 1.1. Modelos de motores de combustión interna y sus prestaciones técnicas por fabricantes (18)

Fabricantes	Senertec	Powerplus Technologies GMBH	Tedom	Avesco/CAT	Honda
Modelo	Dachs	Ecopower	Micro T30	MAN E0824E 301	Ecowill
Potencia eléctrica (kWe)	5,5 / 5	4,7	30	42	1
Eficiencia eléctrica (%)	27	24	27	33	20
Potencia térmica recuperada (kW)	12,5	12,5	62	63	3,5
Combustible (kW)	Gas Natural GLP	Gas Natural	Gas Natural	Gas Natural	Gas Natural

Con micro-turbinas

Se utilizan turbinas que giran a frecuencias elevadas, en rangos desde 30 kW hasta 250 kWe (kilovatios eléctricos) (18). Tienen como ventajas bajo nivel de emisiones; bajo nivel de ruido; dimensiones reducidas; poseen un número reducido de partes móviles y poca necesidad de mantenimiento. Además, pueden utilizar distintos tipos de combustibles tanto líquidos como gaseosos, de alto poder calorífico como los de bajo poder (350 BTU) como el proveniente de digestores de rellenos sanitarios y gas amargo de pozos petroleros con un contenido amargo de hasta 7. Experiencias que según la bibliografía revisada usan en México. (32)

Estado del arte en microturbinas de gas

Existen más de veinte compañías en todo el mundo relacionadas con el desarrollo y la comercialización de microturbinas para aplicaciones de cogeneración (18). En la Tabla 1.2 se muestra un resumen de modelos y sus prestaciones técnicas por fabricante.

Tabla 1.2. Modelos de microturbinas y sus prestaciones técnicas por fabricante (18)

Fabricantes	Capstone turbine		Elliot Energy Systems	Turbec	Browman Power	Ingersoll Rand
Modelo	C30	C60	Elliot	T100	TG 80CG	PowerWorks
Potencia eléctrica (kWe)	30	60	100	105	80	70
Eficiencia eléctrica (%)	26	28	29	33	27	29
Potencia térmica recuperada (kW)	60	110	172	155	150	100
Combustible (kW)	Gas Natural Biogas	Gas Natural Biogas	Gas Natural	Gas Natural	Gas Natural	Gas Natural

Con motores Stirling

Es una tecnología que no se encuentra totalmente desarrollada, posee variedad de modelos que no permite su estandarización, razón por la cual sus costos no son muy competitivos; aun cuando existen fabricantes. Comparado con los motores de combustión interna, presentan bajo nivel de ruido; flexibilidad en el combustible a utilizar; buen rendimiento a carga parcial; la fuente de calor proviene de fuentes externas, lo que permite el uso de una amplia gama de fuentes de energía, incluidos los combustibles fósiles como el petróleo o el gas, y las fuentes de energía renovables como la solar o la biomasa; además, de que ofrecen la posibilidad de tener un motor de alta eficiencia con menos emisiones de gases al ambiente (18).

Estado del arte en motores Stirling

Entre los principales fabricantes de los motores Stirling existentes en el mercado se encuentran los mostrados en la Tabla 1.3 donde se muestran las características y prestaciones de los motores Stirling existentes en el mercado (18).

Tabla 1.3. Modelos de motores Stirling y sus prestaciones técnicas por fabricantes (18)

Fabricantes	Whispegen	Baxi Ecogen	HRE-Boiler	Solo 161
Modelo	Whispegen	Baxi Ecogen	HRE-Boiler	Solo 161
Potencia eléctrica (kW _e)	1	1	1	9
Eficiencia eléctrica (UNI)	12	13,5	12,5	25
Potencia térmica recuperada (kW _t)	7	6	6,4	26
Combustible (kW)	Gas Natural	Gas Natural	Gas Natural	Gas Natural GLP Biogas Biomasa

Pilas de combustible

Son una tecnología que presentan un costo elevado y un ciclo de vida corto. Las pilas de combustible utilizan la energía química de la oxidación del hidrógeno para

producir calor y electricidad obteniéndose como subproducto el agua. El hidrógeno requerido se obtiene en el mismo sitio a partir de combustibles ricos en hidrógeno como el gas natural, debido a las dificultades en el transporte y manipulación del hidrógeno. (18) (33)

Una pila de combustible consiste de dos electrodos separados por un electrolito. El voltaje que se produce en una pila simple es pequeño; sin embargo, se pueden asociar en paquetes de varias pilas para suministrar el voltaje eléctrico requerido.

Las pilas de combustible se clasifican en dos categorías según sea la temperatura del calor producido: las de baja temperatura y alta temperatura. Entre las de baja temperatura se encuentran las de membranas electrolíticas ((PEMFC) proton exchange membrane fuel cell), las de ácido fosfórico ((PAFC) phosphoric acid fuel cell) y las alcalinas ((AFC) alkaline fuel cell). Por otra parte, como pilas de alta temperatura se pueden mencionar las de óxido sólido ((SOFC) solid oxide fuel cell) y las de carbonato fundidas ((MCFC) melted carbonate fuel cell).

Entre las ventajas de las pilas de combustible para aplicaciones en tecnologías de cogeneración se encuentran el bajo nivel de ruido, bajo mantenimiento, excelentes prestaciones funcionando a carga parcial y bajas emisiones. Además, tienen el potencial de alcanzar un rendimiento global de 85 a 90 % hasta en las pequeñas unidades.

Estado del arte en pilas de combustible

Comercialmente existen muchos fabricantes para los diferentes tipos de pilas de combustible; no obstante, entre los fabricantes de pilas de pequeña potencia la gran mayoría se encuentran en el grupo de las pilas tipo PEMFC (Pilas de combustible de membrana de intercambio de protones) (18). En la Tabla 1.4 se presentan los principales fabricantes de pilas de pequeña potencia y sus prestaciones.

Tabla 1.4. Modelos de pilas de combustible y sus prestaciones técnicas por fabricantes (18)

Fabricantes	ProtonMotor GmbH	Teledyne	Vaillant	Hydrogenics	Nuvera Fuel Cell
Modelo	PM 200	NG2000	Vaillant	Ecopower Cabinet	Nuvera
Potencia eléctrica (kWe)	8,3	7,2	4,6	8	5
Eficiencia eléctrica (%)	52	-	35	55	9
Combustible (kW)	Hidrógeno	Hidrógeno	Hidrógeno	Hidrógeno	Hidrógeno

Sistemas de recuperación de calor

Según la aplicación, los intercambiadores de calor para calor residual se clasifican en intercambiadores de calor gas/gas, gas/líquido o líquido/líquido. Los intercambiadores gas/gas, se usan frecuentemente como recuperadores para precalentamiento del aire de combustión en los motores de combustión interna y turbinas. El uso de recuperadores en microturbinas y motores, depende de la eficiencia térmica y las características de la carga eléctrica de la tecnología de cogeneración y trigeneración.

Los intercambiadores de calor de gas/líquido se usan en la recuperación de calor a media y alta temperatura, así como también a baja y media temperatura. Entre los dispositivos de recuperación de media y alta temperatura se encuentran los llamados generadores de vapor o calderas de recuperación ((HRSG) heat recovery steam generator) y los tubos de calor. Entre los dispositivos usados para baja y media temperatura se encuentran los economizadores y calentadores de fluidos térmicos.

Los intercambiadores de calor líquido/líquido, se usan típicamente en aplicaciones industriales. Entre los más usados se encuentran los intercambiadores de calor de tubo y carcasa, y los intercambiadores de placas.

Recuperación de calor para generar agua caliente a partir de los gases de escape

En cuanto a la investigación en este campo, la empresa Gasunie Engineering & Technology, ha desarrollado un recuperador de pequeño tamaño para generar agua caliente en aplicaciones con microturbinas, con una elevada eficiencia

térmica. Entre las características principales de este recuperador se encuentra que en la transferencia de calor, la diferencia de temperatura máxima es de 5 °C entre el agua caliente de entrada y los gases de escape a la salida; además, posee un diseño compacto, en una carcasa individual y un largo ciclo de vida útil.

Recuperación de calor de gases de escape en equipos de absorción

Los intercambiadores de calor más estudiados para su uso como generadores con activación directa con gases de escape, son del tipo tubo y carcasa de flujo tubular de los gases de escape, con circulación natural de la solución agua/bromuro de litio. Estos generadores se utilizan comúnmente en aplicaciones con motores o microturbinas de gas, y en algunas instalaciones se usan también con pilas.

Las investigaciones en esta área, se han centrado en mejorar los intercambiadores de calor del tipo generador de flujo cruzado en banco de tubos, cuyo diseño no es voluminoso y no requiere de una elevada presión de vacío. Lo que da una opción para una reducción en tamaño y peso. También para facilitar la ebullición dentro del generador, los tubos pueden ser aleteados parcialmente o totalmente.

Los esfuerzos en los diseños se orientan en función de desarrollar máquinas que puedan usar el calor residual directamente de los gases de escape de las tecnologías de cogeneración, obteniéndose así menores pérdidas y elevadas eficiencias en la recuperación de calor.

Anexo B. Enfriadoras de agua por absorción y adsorción

En este anexo se resume lo relativo a enfriadoras de agua, utilizadas en combinación con un sistema de cogeneración.

Enfriadoras de agua por absorción

La refrigeración en ciclo de absorción fue desarrollada por Sir John Leslie, que utilizó el ácido sulfúrico como absorbente y el agua como refrigerante. Más tarde, en 1859, Ferdinand Carré inventó la primera máquina de absorción, funcionando con el par amoníaco-agua (34). Existen dos tipos que se comercializan las de agua/bromuro de litio ($H_2O/LiBr$) y amoníaco/agua (NH_3/H_2O) (18).

Una enfriadora de agua por absorción es una máquina que se acciona mediante calor y puede producir agua fría para aplicaciones de climatización y refrigeración.

Los sistemas de refrigeración por absorción presentan la ventaja, respecto a los sistemas convencionales de compresión, de requerir una demanda eléctrica casi despreciable, sustituyendo ésta por demanda térmica. Una planta de este tipo está formada principalmente por intercambiadores de calor. El único componente con partes móviles es la bomba de la solución. Por ello estas plantas prácticamente no tienen desgaste, siendo de alta fiabilidad y reducidos gastos de mantenimiento.

El principal atractivo de estos equipos es su capacidad para aprovechar el calor residual en procesos industriales o en plantas de cogeneración, utilizando el calor de los gases de escape de los motores o de las turbinas, con diferentes formas para el aprovechamiento de dicha energía.

Sistema de refrigeración por absorción de agua/bromuro de litio ($H_2O/LiBr$)

En el sistema de agua/bromuro de litio el refrigerante es el agua, por lo que las aplicaciones utilizadas son para temperaturas mayores de 278,15 K a 280,15 K (5 y 7 °C) en la producción de agua fría para climatización y algunos procesos que se necesite esta temperatura.

Los sistemas de refrigeración por absorción de agua/bromuro de litio pueden ser divididos dependiendo de la recuperación interna de calor dentro del ciclo. Entre estos se encuentran los de simple efecto, doble efecto y simple/doble efecto.

El ciclo básico de un sistema de refrigeración por absorción de simple efecto, consiste en cuatro procesos básicos: absorción, generación, condensación y evaporación.

Las temperaturas típicas de funcionamiento para un sistema de agua/bromuro de litio de simple efecto son de 343,15 K a 353,15 K (70 a 80 °C) en la etapa de generación, 308,15 K (35 °C) en el rechazo de calor a temperatura intermedia y 278,15 K (5 °C) en la de evaporación.

El ciclo básico de un sistema de refrigeración por absorción de doble efecto, contiene un generador e intercambiador de alta y un generador e intercambiador de baja, que funciona de forma similar al de simple efecto. Pueden ser además doble efecto en paralelo, doble efecto en serie y doble efecto paralelo – invertido, como se muestra en la Figura B.1.

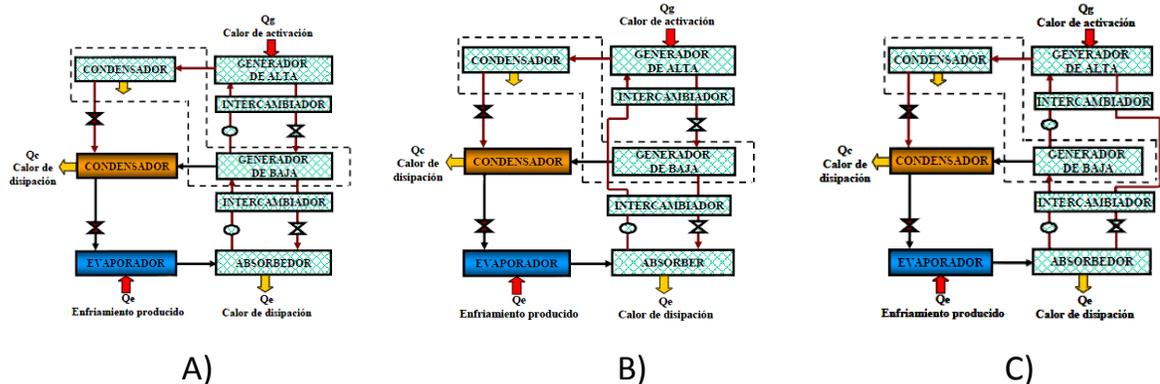


Figura B.1. A) Ciclo de refrigeración por absorción doble efecto en paralelo. B) doble efecto en serie C) doble efecto paralelo – invertido (18)

En los ciclos de refrigeración de doble efecto la circulación de la solución se puede hacer en diversas formas, entre ellas se encuentran la circulación en flujo paralelo, en serie y en paralelo-serie.

En el flujo en paralelo, la solución que sale del absorbedor se bombea en proporciones adecuadas a cada uno de los dos generadores pasando por los intercambiadores de calor de alta y de baja temperatura. Ambas corrientes de retorno de cada generador se mezclan antes de entrar en el absorbedor. Esta forma de circulación se presenta en la Figura B.1.A.

En el flujo en serie (Figura B.1.B) la solución que sale del absorbedor se bombea pasando directamente por el intercambiador de alta temperatura para entrar al generador de alta. Seguidamente, la solución pasa al generador de baja, y al absorbedor circulando previamente por cada uno de los intercambiadores de calor del ciclo.

En el caso del flujo en paralelo invertido (Figura B.1.C) la solución que sale del absorbedor se bombea pasando a través del intercambiador de calor de baja temperatura y a través del generador de baja, luego pasa por el intercambiador de alta, hasta llegar al generador de alta. A la salida del generador de alta, la corriente es enviada directamente al absorbedor pasando por el intercambiador de baja.

El ciclo de refrigeración por absorción de simple/doble efecto (SE/DE) proviene de la modificación de un sistema de doble efecto, donde el generador de baja se modifica para poder operar como simple efecto además de doble efecto. Este tipo de sistemas facilita una óptima adaptación con los sistemas de cogeneración, especialmente con los motores alternativos, utilizando simultáneamente las fuentes de calor provenientes de los gases de escape y del circuito de agua de refrigeración del motor. La Figura B.2, muestra el esquema de un sistema de absorción simple/doble efecto.

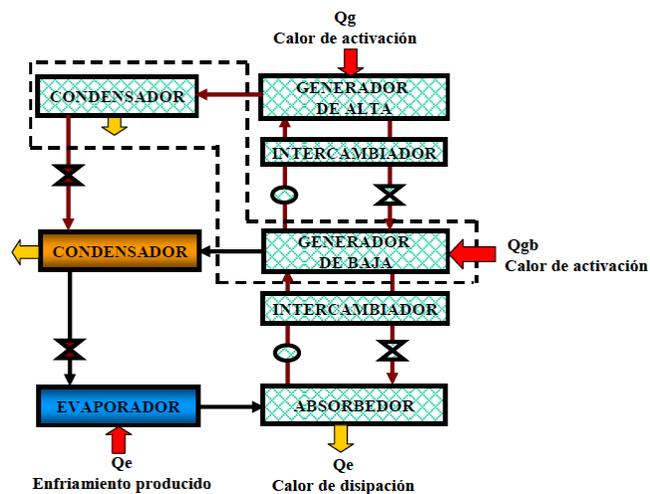


Figura B.2. Ciclo de refrigeración por absorción Simple/Doble efecto (18)

En un ciclo de simple/doble efecto, el sistema puede definirse como una combinación de una máquina de refrigeración de absorción de simple y doble efecto en la cual el generador de alta es activado por una fuente de alta temperatura y el generador de baja es activado con una fuente de baja temperatura.

Según algunos estudios con la utilización de un ciclo de simple/doble efecto, activado a dos niveles de temperatura da como resultado un COP promedio alrededor de 0,95 y un aumento de la capacidad de refrigeración alrededor del 25 % en comparación a una máquina de refrigeración por absorción de doble efecto, activada solamente con una sola fuente de calor residual (gases de escape, agua caliente o vapor de agua).

Estado del arte en enfriadoras de agua por absorción de agua/bromuro de litio. (18)

El mercado de las tecnologías de absorción se encuentra distribuido por diferentes compañías fabricantes, siendo la de mayor implantación la compañía Yazaki con 40 % del mercado mundial. Otras empresas como la compañía Rotartica aplica en edificaciones de pequeño tamaño, y dependiendo de las potencias también se

tienen la compañía Sonnenklima, la compañía Thermax y la empresa alemana Energieanlagenbau Westenfild GmbH, (EAW), quienes suministran enfriadoras por absorción de simple efecto. En la tabla B.1, se muestran por fabricante, la potencia frigorífica y temperatura de activación de los equipos de refrigeración por absorción de simple efecto.

Tabla B.1. Características de equipos de refrigeración por absorción y fabricante (18)

Marca	Rotartica		Sonneklima		Yazaki		Thermax		EAW	
Tecnología	Simple efecto		Simple efecto		Simple efecto		Simple efecto		Simple efecto	
Modelo	45		SunInverse		WFC SC 10		Cogenie LT1		Wegracal SE 50	
	Potencia (kW)	Temperatura K (°C)	Potencia (kW)	Temperatura K (°C)						
COP	0,67		0,66		0,7		0,7		0,75	
Agua Caliente	6,7	363,15 (90)	15	368,15 (95)	50,2	361,15 (88)	50	363,75 (90,6)	72	359,15 (86)
Agua Fría	4,5	283,15 (10*)	10	279,15 (6*)	35,2	280,15 (7*)	35	279,85 (6,7*)	54	282,15 (9)
Agua Disipación	10,8	303,15 (30)	25	303,15 (30)	85,5	304,15 (31)	85	302,55 (29,4)	126	300,15 (27)

* Temperatura nominal de salida del agua del evaporador

Nota: la temperatura se indica en Kelvin y entre paréntesis grados Celsius

Respecto a la gran mayoría de las enfriadoras de agua por absorción de doble efecto existentes en el mercado se disponen de potencias mayores a 150 kW. Entre las compañías que poseen una amplia trayectoria en el mercado se encuentran las empresas Broad y Yazaki con una amplia gama de potencias frigoríficas en sus enfriadoras. En la tabla B.2, se muestran por fabricante, la potencia y temperatura de los equipos de refrigeración por absorción de doble efecto.

Tabla B.2. Características de equipos de refrigeración por absorción de doble efecto y fabricante (18)

Marca	Rotartica		Yazaki	
Tecnología	Doble efecto		Doble efecto	
Modelo	BCT 16		CH-K30	
	Potencia (kW)	Temperatura K (°C)	Potencia (kW)	Temperatura K (°C)
COP	1,1		1,1	
Agua Caliente	14,54	433,15 (160 - vapor)	103	(combustible)
Agua Fría	16	280,15 (7)	105	280,15 (7*)
Agua Disipación	30	303,15 (30)	191	302,65 (29,5)

* Temperatura nominal de salida del agua del evaporador

Nota: la temperatura se indica en Kelvin y entre paréntesis grados Celsius

Sistema de refrigeración por absorción de amoníaco/agua ($\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$)

En los sistemas de amoníaco/agua el amoníaco actúa como refrigerante; las aplicaciones pueden ser tanto para climatización como para procesos industriales donde se necesiten temperaturas de 273,15 K hasta 223,15 K (0 °C hasta -50 °C).

El principio de funcionamiento del sistema de refrigeración por absorción de amoníaco/agua de simple etapa es igual al de agua/bromuro de litio de simple efecto. La principal diferencia es la poca desigualdad de volatilidades del amoníaco y el agua, en comparación con la existente en el sistema de agua/bromuro de litio. En el generador del ciclo no solamente se evapora amoníaco, sino también se produce una cierta cantidad de vapor de agua. La presencia de agua provoca problemas en el evaporador, la misma se evapora con más dificultad que el amoníaco, provocando una acumulación de agua que dará lugar a un aumento de presión, impidiendo la refrigeración a la temperatura deseada. Para evitar este problema se añade un rectificador, o sistema de purificación de la corriente de refrigerante, con la finalidad de separar el agua contenida en el vapor a la salida del generador. La figura B.3 presenta un esquema de un ciclo de refrigeración por absorción de amoníaco/agua de simple etapa.

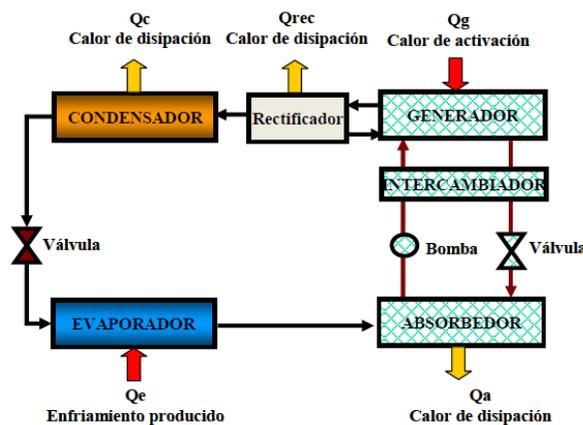


Figura B.3. Ciclo de refrigeración por absorción de amoníaco/agua de simple etapa

Como ventajas de este sistema se tienen la obtención de temperaturas muy bajas hasta 218,15 K (- 55 °C); la solubilidad del amoníaco en el agua en todas las concentraciones, por lo tanto el ciclo puede refrigerarse por aire, prescindiendo de la torre de refrigeración o de enfriamiento y de las necesidades del mantenimiento asociados a ella. Dentro de las desventajas, se pueden considerar que el refrigerante trabaja a presiones muy altas y el absorbente posee una alta volatibilidad, por lo que se necesita de la utilización de un rectificador. Además el amoníaco, es altamente contaminante, inflamable, tóxico por inhalación, provoca quemaduras y muy tóxico para los organismos acuáticos, razón por lo cual se debe manejar con las medidas que requiere.

Estado del arte en enfriadoras de agua por absorción de amoníaco/agua, de pequeña potencia comercialmente disponibles

La compañía Solarnext, posee una variedad de enfriadoras de diferentes tamaños enfocadas a aplicaciones residenciales. El modelo de la enfriadora de agua, Chilli PSC 10 y 12, se ha evaluado en diversas aplicaciones de edificios y en ensayos experimentales, presentando buenos rendimientos a diferentes temperaturas de activación. La empresa Robur con una amplia trayectoria en la fabricación de equipos de amoníaco/agua de pequeña potencia, posee enfriadoras de agua que pueden emplear como combustible gas natural o gas licuado de petróleo (18).

En la Tabla B.3 se presentan por fabricante, la potencia y temperatura de los equipos de refrigeración por absorción de amoníaco/agua

Tabla B.3. Características de equipos de refrigeración por absorción de amoníaco/agua y fabricante (18)

Marca	Pink		AGO		ROBUR	
Tecnología	Simple efecto		Simple efecto		Simple efecto	
Modelo	PSC 12		ACC 50		ACF 60 TK	
	Potencia (kW)	Temperatura K (°C)	Potencia (kW)	Temperatura K (°C)	Potencia (kW)	Temperatura K (°C)
COP	0,65		0,54		0,7	
Agua Caliente	12	358,15 (85)	91,5	388,15 (115)	21,6	488,15 (215**)
Agua Fría	18,2	279,15 (6)	50	263,15 (-10)	16	280,35 (7,2*)
Agua Disipación	30,5	297,15 (24)	141,5	298,15 (25)	37,8	297,15 (24)

* Temperatura nominal de salida del agua del evaporador

* Temperatura de entrada en el generador (aceite térmico)

Nota: la temperatura se indica en Kelvin y entre paréntesis grados Celsius

Enfriadoras de agua por adsorción

En la refrigeración térmica (35) (36) (37) (38) (39) (40) (41), las funciones del compresor del ciclo de compresión se sustituyen por dos dispositivos: un sorbedor, en donde se realiza la sorción (succión físico-química) y un desorbedor o generador de vapor en donde se separa el vapor del sorbente, por medio de la acción del calor aplicado.

Físicamente, la adsorción es un proceso por el que una molécula de fluido se fija sobre la superficie de un sólido. Esta interacción es exotérmica, y esta energía se utiliza en el sistema como calor (actúa de evaporador).

Los sistemas usados son sistemas agua - silica gel, zeolita - agua o carbón activado – metanol. El refrigerante es el agua.

Como se mencionó en el texto, el ciclo de refrigeración térmica por adsorción se muestra en la figura B.4.

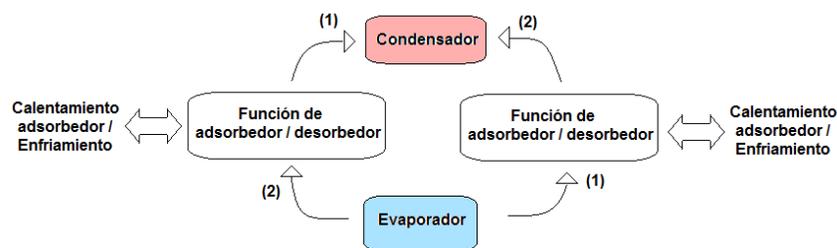


Figura B.4. Esquema sistema de adsorción

El principio de funcionamiento es similar al de un sistema de absorción, aunque en este caso el absorbente no es un líquido, sino un sólido. El sistema funciona en dos etapas, donde la silica gel o la zeolita funcionan como adsorbente y desorbente para realizar el proceso de climatización. El refrigerante es el agua.

Para que el proceso sea continuo, en algún momento, uno de los recipientes se encuentra en proceso de adsorción del vapor de agua proveniente del evaporador,

para lo cual se necesita que el agua de refrigeración procedente de la torre de enfriamiento circule por el intercambiador correspondiente.

En el otro recipiente, se está realizando el proceso de desorción donde se regenera el sorbente, por lo que se calienta por medio de un intercambiador de calor, aprovechando el calor proveniente de una instalación solar o una central de cogeneración, liberándose en esta etapa el vapor de agua, que pasa al condensador, donde el vapor de agua cambia a fase líquida, regresando al evaporador.

Luego, por procesos de optimización de los fabricantes de los sistemas, se invierte el proceso, con lo cual se optimiza el uso del material sorbente. Por lo tanto, como se observa en el esquema representado en la Figura B.4, en algún momento del ciclo el sorbente se calienta para regenerarlo y en otro momento, climatiza el espacio.

Este tipo de sistemas se adapta a proyectos en el que existe una demanda de frío y una fuente de calor residual. Otros sistemas de refrigeración por adsorción interesantes en sistemas a pequeña escala son la combinación con un foco caliente obtenido con energía solar térmica.

En el mercado existen experiencias con la utilización de chillers de adsorción. El mantenimiento de estos sistemas es mínimo; además, como se emplea agua, no es contaminante, no tiene partes móviles, requiere muy poco mantenimiento y se pueden colocar en el exterior.

Según los fabricantes, no son sensibles a las variaciones de temperatura comparado con los chillers de absorción; es decir, la reducción de la capacidad, en la máquina de absorción al reducir la temperatura del agua caliente de aportación a 353,15 K (80 °C), casi la deja fuera de servicio ya que la temperatura mínima de operación en ese tipo de máquinas es del orden de 348,15 (75 °C), lo que hace a la máquina de adsorción muy atractiva en instalaciones solares. En la Tabla B.4 se presentan por fabricante, la potencia y temperatura de los equipos de refrigeración por adsorción.

Tabla B.4. Características de equipos de refrigeración por adsorción (37) (38) (39) (40) (41)

Marca	SORTECH AG				GREEN ADSORPTION CHILLER / NISHIYODO			
Tecnología	Agua - Silica Gel o Zeolita				Agua - Silica Gel			
Modelo	ACS 08/RCS 08		ACS 15/RCS 15		ADCM1-180		ADCM1-145	
	Potencia (kW)	Temperatura K (°C)	Potencia (kW)	Temperatura K (°C)	Potencia (kW)	Temperatura K (°C)	Potencia (kW)	Temperatura K (°C)
COP	0,6		0,6		0,59		0,59	
Capacidad de enfriamiento nominal	8 - 11		15 - 23		629,5		503,6	
Agua Fría		279,15 - 293,15 (6 - 20)		279,15 - 293,15 (6 - 20)		280,15 (7)		280,15 (7)

Marca	INVENSOR GMBH			
Tecnología	Agua - Zeolita			
Modelo	LTC 10 PLUS		HTC 11	
	Potencia (kW)	Temperatura K (°C)	Potencia (kW)	Temperatura K (°C)
COP	0,65		0,53	
Capacidad de enfriamiento nominal	4 - 12		31,8	
Agua Fría		283,15 - 298,15 (10 - 25)		282,15 - 298,15 (9 - 25)

Nota: la temperatura se indica en Kelvin y entre paréntesis grados Celsius

Anexo C. Cálculo estimado de la carga de climatización del hotel

Se calcularon los valores estimados de carga térmica del hotel, utilizando el programa Calculair, descargado de la página Web Saunier Duval. Los cálculos se realizaron función de la información suministrada por el hotel. En la tabla C.1 se muestran los resultados de la carga de climatización para la Torre Norte.

Tabla C.1. Carga de Climatización de la Torre Norte.

Torre Norte	TonR
Piso 1 Alba Meetings	35,88
Piso 2 al 18	231,73
Piso 1 al 21	40,40
Piso 22 (Ejecutivo)	24,26
Piso 23 al 24 (Ejecutivo)	27,16
Piso 25 (Ejecutivo)	17,05
Piso 26 (Ejecutivo)	15,52
Nivel Lobby	259,74
Salones Mezzanina	237,17
Total	888,90

En la tabla C.2, se encuentran los resultados para la Torre Sur. Se hizo una idealización para los pisos 1, 2 y 3, debido a que se encuentran oficinas en estos pisos. Habría que revisar los contratos de alquiler en estas áreas para afinar las cargas que se encuentran. En estas oficinas se han instalado splits, en vista que el hotel no puede suplir la carga térmica existente. En el piso 15, no se tuvo acceso a las habitaciones. No se tuvo información de salones existentes en esta torre.

Tabla C.2. Carga de Climatización de la Torre Sur.

Torre Sur	TonR
Piso 15	1,6
Piso 4 al 14	38,62
Piso 5, 7, 9, 11 y 13 (Sector Sur)	59,76
Piso 5, 7, 9, 11 y 13 (Sector Norte)	54,72
Piso 6, 10 y 14 (Sector Sur)	32,55
Piso 6, 10 y 14 (Sector Norte)	32,44
Piso 4, 8 y 12 (Sector Sur)	32,40
Piso 4, 8 y 12 (Sector Norte)	30,02
Piso 1 y 3 (Sector Sur)	10,55
Piso 1 y 3 (Sector Norte)	10,24
Piso 2 (Sector Sur)	10,75
Piso 2 (Sector Norte)	10,81
Total	324,17

En la tabla C.3, se encuentran los resultados para las dos torres

Tabla C.3. Carga de climatización en las dos torres

Descripción	TonR	kWt
Torre Norte	888,90	3 126,14
Torre Sur	324,17	1 140,05
Total	1 213,07	4 266,20

1TonR = 3,52 kW

Anexo D. Cálculo estimado del consumo de gas del hotel

Se calcularon los valores promedio de consumo de gas del hotel para los años 2011 y 2012 y para el periodo. En la tabla D.1, se muestran estos valores.

Tabla D.1. Valores promedio de consumo de gas

Año	Promedio mensual (m ³ /mes)	Promedio diario (m ³ /día)
2010	66 732,92	2 224,43
2011	63 064, 22	2 102,14
Periodo 2010 - 2011	64 898,57	2 163,28

Según la factura de PDVSA gas, prestadora del servicio, la gravedad específica es 0,6722. Como la gravedad específica es igual a la densidad relativa ρ_r , se calculará con la ecuación (1), la densidad absoluta ρ .

$$\rho_r = \frac{\rho(\text{den.abs.})}{\rho_0(\text{den.ref.})} \quad (1)$$

La densidad de referencia del aire a 101 325 N/m² (1 atm) y 273,15 K (0 °C) es $\rho_0 = 1,293 \text{ kg/m}^3$. De donde se obtiene la densidad absoluta $\rho = 0,8692 \text{ kg/m}^3$.

Con el volumen promedio diario de gas para el periodo, se calcula el flujo estimado promedio de consumo de gas de la caldera. Se consideró que la caldera opera 12 horas en promedio durante el día y el resto del tiempo se mantiene caliente, por sus controles automáticos. Mediante el cálculo especificado a continuación en la ecuación (2), se obtiene el consumo promedio estimado de gas de la caldera.

$$2\ 163,28 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} \times 0,8692 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \frac{1}{12 \frac{\text{h}}{\text{dia}}} = 156,69 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \quad (2)$$

Se asumió, que como el flujo de vapor está en relación directa con el consumo de combustible, la variación de flujo de vapor, es el mismo en porcentaje que el ocurrido en el combustible.

Se comparó la caldera en uso en el hotel, fabricada en 1968, con una caldera de igual capacidad de la misma marca, modelo "Wet Back" A2, catalogo de fecha 24 de septiembre de 2009., de 149 139, 97 Wt (200 Boiler Horse Power BHP ó Caballos Caldera C.C.). En la tabla D.2, se muestran las especificaciones técnicas.

Tabla D.2. Especificaciones técnicas Caldera Powermaster modelo "Wet Back" A2

Capacidad nominal	200 C.C.
De vapor desde y a 100 °C	3 130,00 kg/h
Consumos aprox. de combustible Gas LP (11000 Kcal/Kg)	172.3 kg/h

Se comparan el valor estimado de flujo de combustible de la caldera actual con respecto al modelo Wet Back A2, resultando el consumo equivalente en 90,94 %. Con este porcentaje y asumiendo que hay una relación directa entre el consumo de combustible y el vapor generado, se adjudica a la caldera en uso del hotel un flujo de vapor tomando como referencia el vapor generado en la caldera modelo Wet Back A2, de 2 846,49 kg/h. Es decir, el 90,94 % de 3 130,00 kg/h.

La caldera trabaja a una presión de 620 528,16 N/m² (90 Psig). Con estos valores se busca en la tabla de agua saturada, los valores de entalpía para el vapor ($h_v = 2 758,1$ KJ/kg) y el agua de alimentación ($h_{aa} = 675,55$ KJ/kg). Ahora se puede obtener el calor o la energía de la caldera, con la ecuación (3).

$$Q = \dot{m}(h_v - h_{aa}) \quad (3)$$

Siendo $Q = 5 928 105,28$ KJ/h (1 646,69 kWt)

Valor del poder calorífico del combustible

Según la factura de PDVSA gas, prestadora del servicio, el poder calorífico del gas es 1 010 BTU/PC

Para expresar el poder calorífico en kcal/kg, se debe hacer lo siguiente. Primero se llevan los BTU/PC a Kcal/m³, con la ecuación (4) que utiliza las conversiones respectivas.

$$1\ 010 \frac{BTU}{pie^3} \times 0,251996 \frac{kcal}{BTU} \times 35,28 \frac{pie^3}{m^3} = 8\ 979,32 \frac{kcal}{m^3} \quad (4)$$

Luego, para llevarlo a unidad de masa, lo divido por el volumen específico o densidad del gas 0,8692 kg/m³, tal como se muestra en la ecuación (5), con lo cual se obtiene el poder calorífico del gas.

$$8\ 979,32 \frac{kcal}{m^3} \times \frac{1}{0,8692 \frac{kg}{m^3}} = 10\ 330,56 \frac{kcal}{kg} \quad (5)$$

Rendimiento de la caldera del hotel

Por el método directo y usando la ecuación (6), se obtiene el rendimiento estimado.

$$\eta = \frac{G_v(h_v - h_{aa})}{G_{gas}(\text{Poder calor. gas})} \quad (6)$$

Donde:

G_v: Flujo de vapor (2 846,49 kg/h)

h_v: entalpía del vapor (2 758,1 kJ/kg)

h_{aa}: entalpía del agua de alimentación (675,55 kJ/kg)

G_{gas}: Flujo de gas (156,69 Kg/h)

Poder calorífico del gas: 43 285,25 kJ/Kg

Obteniéndose $\eta = 0,874$ (87,4 %)

Anexo E. Cuestionario básico estudios de viabilidad sector terciario.

El cuestionario que se anexa contiene las respuestas dadas por el personal de ingeniería y las levantadas y calculadas durante el desarrollo de la investigación. Las repuestas fueron suministradas por las mismas personas que contestaron las preguntas del cuestionario donde se evalúa si el hotel es factible o candidato para usar cogeneración.

CUESTIONARIO BÁSICO ESTUDIOS DE VIABILIDAD SECTOR TERCIARIO

1. DATOS GENERALES

Fecha: Noviembre 2011

Nombre:	<input type="text" value="Hotel Venetur Alba Caracas"/>	Teléfono:	<input type="text" value="0212 503 4165"/> <input type="text" value="0212 503 4167"/>
Dirección completa:	<input type="text" value="Av. México, con Av. Sur 25, frente al Complejo Cultural Teresa Carreño. Urbanización El Conde. Distrito Capital. Venezuela"/>	Fax:	<input type="text" value="0212 503 5014"/>
Persona de Contacto:	<input type="text" value="Ing. Oscar Pérez"/>	Ciudad:	<input type="text" value="Caracas"/>
Cargo:	<input type="text" value="Gerente de Ingeniería"/>	email:	<input type="text" value="operez@hotelalbacaracas.com.ve"/> <input type="text" value="lhernandez@hotelalbacaracas.com.ve"/>
Actividad Principal:	<input type="text" value="Hotel"/>		
Otras actividades:	<input type="text" value="Servicio de hotel"/> <input type="text" value="Servicio de Eventos y Convenciones"/> <input type="text" value="Servicio de Bar / Restaurantes"/>		

CARACTERÍSTICAS DEL EDIFICIO

Superficie construida:	<input type="text" value="81 517,43"/> m ²	Número de camas:	<input type="text"/>
Superficie climatizable:	<input type="text" value="66 915,07"/> m ²	Número de cuartos:	<input type="text" value="762"/>
Número de plantas:	<input type="text" value="15 (Torre Sur)"/> <input type="text" value="26 (Torre Norte)"/>	Porcentaje de ocupación:	<input type="text" value="70"/> %
Red de calor (ACS): Si <input checked="" type="radio"/> No <input type="radio"/>	}	Temperatura ida:	<input type="text" value="82"/> °C
Red de frío (Aire Acondicionado): Si <input checked="" type="radio"/> No <input type="radio"/>		Temperatura retorno:	<input type="text"/>
Instalación Solar: Si <input type="radio"/> No <input checked="" type="radio"/>		Sistema de transporte:	<input type="text" value="Agua"/>
	}	<small>Fluido empleado para el transporte de frío (agua, aire, etc)</small>	
		Temperatura ida:	<input type="text" value="8"/> °C
	}	Temperatura retorno:	<input type="text" value="11"/> °C
		Superficie de placa:	<input type="text"/> m ²
		Potencia:	<input type="text"/> kW

Otras observaciones:

Adjuntar si es posible plano de las instalaciones

2. CONDICIONES AMBIENTALES:

Altura sobre el nivel del mar: m

Temperatura media anual: °C

Temperatura máxima anual: °C

Temperatura mínima anual: °C

Humedad relativa media: %

Otras observaciones:

3. PROGRAMA DE TRABAJO DEL CENTRO CONSUMIDOR:

Horario de trabajo diario:

De lunes a Viernes: De: A:

Sábados: De: A:

Domingos: De: A:

Horas de funcionamiento anuales: h/año

Semanas de vacaciones:

Otros días de paro programado:

4. SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Compañía suministradora:

Demanda Asignada Contratada: kVA

Tensión de interconexión: kV

Consumo anual (2010): MWh

Factor de Potencia:

Otras consideraciones:

Adjuntar plano o esquema eléctrico unifilar
Adjuntar recibos de los doce últimos meses

5. SUMINISTRO DE COMBUSTIBLE

5.1. Compras de combustible

Tipo:
 (Gas Natural, GLP, Diesel)

Poder calorífico superior medio: kcal/m³

Poder calorífico inferior medio: kcal/m³

Forma de suministro:

Presión normal de suministro: Psig

Presión máx. de suministro:

Presión mín. garantizada:

Capacidad de almacenamiento:

Consumo anual: MWht

Costo anual:

Otras consideraciones:

Adjuntar recibos de los doce últimos meses
 Si se dispone de la misma, adjuntar analítica de la composición del combustible

5.2. Usos del combustible. Indicar la proporción de combustible que se utiliza para cada aplicación

Combustible: Gas Natural

Vapor: %

Gases Calientes: %

Agua caliente: %

Aceite térmico: %

Hornos: %

Otros (Especificar): %

Observaciones:

6. EQUIPOS CONVERTIDORES Y USOS DE ENERGÍA TÉRMICA
6.1. Generación de vapor

Generadores de vapor:	Gen. Vapor 1	Gen. Vapor 2
Marca:	<input type="text" value="Powermaster"/>	<input type="text" value="Powermaster"/>
Tipo:	<input type="text" value="Piro tubular"/>	<input type="text" value="Piro tubular"/>
<small>Piro tubular/Acuo tubular</small>		
Combustible:	<input type="text" value="Gas metano industrial"/>	<input type="text" value="Gas metano industrial"/>
Retorno de condensados:	<input type="text"/> %	<input type="text"/> %
Presión de trabajo:	<input type="text" value="90"/> Psig	<input type="text" value="90"/> Psig
<small>absoluta o manométrica</small>		
Flujo medio de vapor:	<input type="text" value="66 732.92"/> m ³ /mes	<input type="text" value="66 732.92"/> m ³ /mes
<small>(2010):</small>		
Flujo máximo de vapor:	<input type="text"/> m ³ /mes	<input type="text"/> m ³ /mes
Temp. Agua alimentación:	<input type="text" value="40"/> °C	<input type="text" value="40"/> °C
Temp. Retorno condensados:	<input type="text" value="45"/> °C	<input type="text" value="45"/> °C
Temp. Vapor:	<input type="text"/> °C	<input type="text"/> °C
Potencia del quemador:	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Rendimiento:	<input type="text" value="87.4"/> %	<input type="text" value="87.4"/> %
Otras consideraciones:	<input type="text"/>	

Usos del vapor:

Consumidor 1:	<input type="text" value="Cocina"/>	Flujo medio:	<input type="text"/> kg/h
		Presión:	<input type="text"/> Psig (man).
Consumidor 2:	<input type="text" value="Lavandería y Tintorería"/>	Flujo medio:	<input type="text"/> kg/h
		Presión:	<input type="text"/> Psig (man).
Consumidor 3:	<input type="text" value="Calentadores"/>	Flujo medio:	<input type="text"/> kg/h
		Presión:	<input type="text"/> Psig (man).
Otros:	<input type="text"/>		

6.2. Generación de agua caliente

Generadores de agua caliente:

<input type="text" value="Torre Sur"/>	
Gen. A. C. 1	Gen. A. C. 2
Marca:	<input type="text"/>
Combustible:	<input type="text" value="Vapor"/>
Temp. Agua entrada:	<input type="text" value="26"/> °C
Temp. Agua entrada:	<input type="text" value="60"/> °C
Flujo de agua:	<input type="text"/> m ³ /h
Potencia:	<input type="text"/>
Rendimiento:	<input type="text"/> %
Usos:	<input type="text" value="Habitaciones y Servicios Generales"/>

Torre Norte				
	Gen. A. C. 1	Gen. A. C. 2	Gen. A. C. 3	Gen. A. C. 4
Marca:	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Combustible:	Vapor	Vapor	Vapor	Vapor
Temp. Agua entrada:	26 °C	26 °C	26 °C	26 °C
Temp. Agua entrada:	60 °C	82 °C	82 °C	82 °C
Flujo de agua:	<input type="text"/> m ³ /h			
Potencia:	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Rendimiento:	<input type="text"/> %	<input type="text"/> %	<input type="text"/> %	<input type="text"/> %
Usos:	Habitaciones y Servicios Generales	Habitaciones y Servicios Generales	Habitaciones y Servicios Generales	Lavandería

Usos del agua caliente:

Consumidor 1:

Flujo medio: kg/h

Consumidor 2:

Flujo medio: kg/h

Consumidor 3:

Flujo medio: kg/h

Otros:

6.3. Generación de gases calientes

No se utilizan gases calientes en el hotel

6.4. Generación de frío

a) Compresores

Compresor 1

Marca:

Fluido refrigerante:

Sistema de transporte de frío:

Potencia eléctrica (promedio): kW

Temperatura de entrada: °C

Temperatura de salida: °C

Potencia frigorífica: Ton R

COP(*):

Otros:

(*) COP: Coefficient Of Performance. Es el cociente de eficiencia energética. Nos da una idea del rendimiento de la máquina frigorífica, y se calcula como el cociente entre el calor extraído del foco frío y el trabajo empleado por la máquina frigorífica.

b) Máquinas de absorción

No se cuenta con estas máquinas en el hotel

c) Usos del frío:

Consumidor 1:

Flujo medio: kg/h

Otros:

7. MODULACIÓN DE LA DEMANDA TÉRMICA

En este apartado se deben indicar las variaciones que sufren las demandas térmicas a lo largo del día, dependiendo de la estación del año (si se trata de demandas estacionales).

Aunque los valores absolutos no son especialmente relevantes, es importante conocer la forma de la curva de demanda diaria, y especialmente, las puntas de demanda.

7.1. DEMANDA DE VAPOR

DEMANDA HORARIA PROMEDIO DURANTE EL INVIERNO:

HORA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Unidad
DEMANDA													

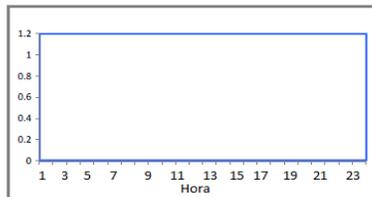
HORA	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Unidad
DEMANDA													

DEMANDA HORARIA PROMEDIO DURANTE EL VERANO:

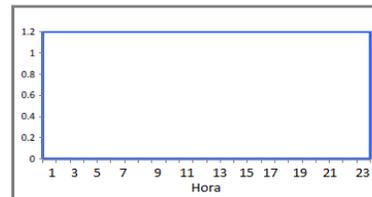
HORA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Unidad
DEMANDA													

HORA	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Unidad
DEMANDA													

CURVAS DIARIAS



Invierno, de mes a mes



Verano, de mes a mes

Otras consideraciones:

7.2. DEMANDA DE AGUA CALIENTE

DEMANDA HORARIA PROMEDIO DURANTE EL INVIERNO:

HORA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Unidad
DEMANDA													

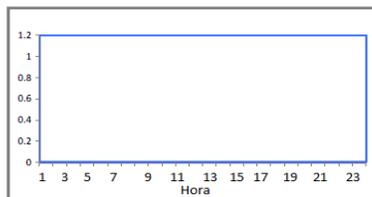
HORA	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Unidad
DEMANDA													

DEMANDA HORARIA PROMEDIO DURANTE EL VERANO:

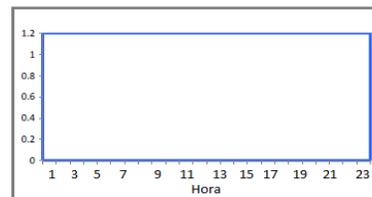
HORA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Unidad
DEMANDA													

HORA	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Unidad
DEMANDA													

CURVAS DIARIAS



Invierno, de mes a mes



Verano, de mes a mes

Otras consideraciones:

7.3 Demanda de gases calientes

No se usan gases calientes

7.4. Demanda de frío

No se maneja este dato

8. HISTÓRICO DE CONSUMOS EN BASE ANUAL

Indicar los consumo energéticos promedio de los últimos años

Año	2009	2010	2011
Electricidad (kWh)	957 734,25	911 684,01	937 265,84
Gas (m ³)		66 732,92	63 064,22

9. ENERGÍA ELÉCTRICA AUTOGENERADA

9.1. TIPO DEL EQUIPO DE GENERACIÓN

A) TURBINA DE VAPOR

A1) CONTRAPRESIÓN

A2) CONDENSANTE

B) TURBINA DE VAPOR CON EXTRACCIÓN

B1) EXTRACCIÓN - CONDENSACIÓN

B2) EXTRACCIÓN - CONTRAPRESIÓN

C) TURBINA

C1) GAS

C2) GASOLINA

C3) DIESEL

C4) OTRO

D) MOTOR ALTERNATIVO

E) OTRO ESPECIFIQUE:

9.2. CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO DE AUTOGENERACIÓN

DATOS DEL GENERADOR

CANTIDAD DE GENERADORES

CARACTERÍSTICAS IGUALES Si

No

NOMINALES

MARCA:

AÑO FABRICACIÓN:

CAPACIDAD: kVA

FACTOR DE POTENCIA:

TENSIÓN:

DE OPERACIÓN

CAPACIDAD: kVA

HORAS POR AÑO:

ENERGÍA GENERADA POR AÑO:

USOS:

9.3. CARGO MENSUAL POR LA AUTOGENERACIÓN

CARGOS POR COMBUSTIBLE:

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO:

CARGOS POR LA INVERSIÓN:

9.4. POTENCIA Y AUTOCONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA GENERADA ACTUAL

MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
KW max (base)												
KW max (intermedio)												
KW max (punta)												
kWh (base)												
kWh (intermedio)												
kWh (punta)												

10. DATOS ADICIONALES DE LA INSTALACIÓN

1. CONFIABILIDAD Y COSTO DEL SERVICIO ELÉCTRICO

1.1. Estime cuántos cortes de suministro eléctrico (de la red y de autogeneración) ocurrieron en el último año.

No. De cortes de la red:

Duración promedio:

Duración máxima:

No. De cortes de autogeneración:

Duración promedio:

Duración máxima:

1.2. Costos al centro por los cortes del suministro eléctrico

por corte:

por año:

1.3. Costos anuales aproximados de mantenimiento y operación de la planta de energía

1.4. Costos anuales totales de combustible para la autogeneración:

2. Espacio disponible para la instalación de un sistema de cogeneración:

Fuera de la instalación:  m²

Dentro de la instalación:  Altura (m):

Observaciones:

3. Indique si existen otros centros cercanos

11. PREVISIONES DE FUTURO

Indicar, si se conocen, las previsiones de aumento o disminución de las demandas energéticas de la industria para un plazo de unos 5 años

Electricidad:

Vapor:

Agua caliente:

Aceite térmico:

Gases calientes:

Hornos:

Frío:

Observaciones:

12. CONSULTAS, DUDAS, ACLARACIONES O SUGERENCIAS

Para cualquier consulta, duda o aclaración, puede contactar via e-mail en las siguiente dirección:

mailto:

Si desean que contactamos telefónicamente con ustedes, por favor indíquelo en su mensaje.

Anexo F. Cálculo estimado del precio de la máquina de absorción

Se realizó una tabla con las toneladas de refrigeración y los costos que tiene la empresa y se calculó un índice. Los datos se encuentran en la tabla 1.

Tabla 1. Precios por toneladas de refrigeración de unidades enfriadoras y la relación respectiva

Toneladas de Refrigeración (TonR)	Pesos Mexicanos (MXN)	Relación (MXN/TonR)
200	440 000	2 200,00
140	300 000	2 142,86
90	250 000	2 777,78
80	220 000	2 750,00
70	205 000	2 928,57
60	200 000	3 333,33
40	125 000	3 125,00
25	88 000	3 520,00
20	80 000	4 000,00
15	67 000	4 466,67
10	52 000	5 200,00
7,5	40 000	5 333,33
5	33 000	6 600,00
2	25 000	12 500,00

Se hizo una gráfica para estimar una ecuación que explique el comportamiento de los datos y de esta forma obtener un costo de capital del chiller en MXN/TonR. En la figura 1, se muestra la gráfica

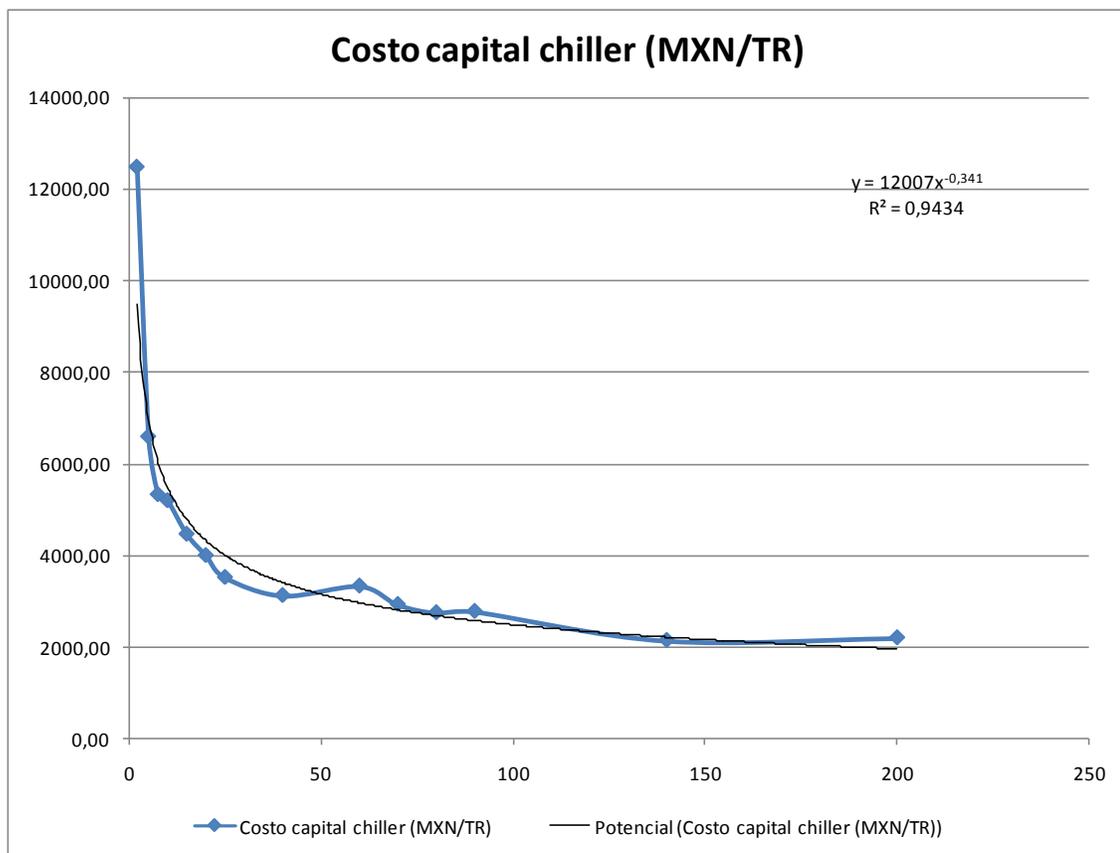


Figura 1. Costo capital chiller (MXN/TonR)

Utilizando la ecuación obtenida en la modelación, se obtuvo el precio de la máquina de absorción de 360 TonR, el cual es MXN 580 815,05.

La paridad cambiaria del peso mexicano respecto al dólar para el 26 de junio de 2012, es 1 MXN igual a 0,07 USD. Con esta información, se obtuvo el costo de la máquina de absorción de USD 42 241,09.

Glosario de términos

Amoniaco (42) (43): Se conoce también como gas de Amonio, Amoníaco Anhidro, R-717, espíritu de Hartshorn, AM-FOL, Nitro-Sil. En forma líquida se conoce como amoniaco líquido o amoniaco licuado. En soluciones en agua se denomina amoniaco en solución acuosa o hidróxido de amonio. En el mundo, se utiliza principalmente como fertilizante (80 %), productos de limpieza y en sistemas de refrigeración (2 %).

En condiciones de temperatura y presión ambiente el amoniaco anhidro es un gas incoloro, sofocante, de olor irritante o altamente irritante dependiendo de su concentración; su olor es familiar debido a que se emplea en productos de limpieza en forma de soluciones acuosas. Es más liviano que el aire y posee características de inflamabilidad. Se comprime fácilmente hasta condensar como líquido transparente a condiciones de 10 atmósferas y 25°C. El Amoniaco Anhidro en cualquiera de sus presentaciones es higroscópico. Esta propiedad lo hace perjudicial a la vida, porque absorbe el agua presente en las mucosas.

El amoniaco anhidro es más liviano que el aire y por eso tiende a subir en la atmósfera pero los vapores del amoniaco líquido son inicialmente más pesados y se pueden extender a todo lo ancho del suelo, de tal forma que se pueden producir casos de asfixia y efectos de inhalación en lugares cerrados o pobremente ventilados.

Efectos sobre la salud - Frases de riesgo

- Amoniaco anhidro

R10: Inflamable

R23: Tóxico por inhalación

R34: Provoca quemaduras

R50: Muy tóxico para los organismos acuáticos

- Solución de amoniaco, concentración mayor a 25%

R34: Provoca quemaduras

R50: Muy tóxico para los organismos acuáticos

- Solución de amoniaco, concentración entre 5% y 10%

R36/37/38: Irrita los ojos, la piel y las vías respiratorias

Balastro, balasto o balastra en España (44) (45): Equipo que sirve para mantener un flujo de corriente estable en lámparas, ya sea un tubo fluorescente, lámpara de vapor de sodio, lámpara de haluro metálico o lámpara de vapor de mercurio. Técnicamente es un reactor que está constituido por una bobina de alambre de cobre esmaltado, enrollada sobre un núcleo de chapas de hierro o de acero eléctrico.

Fuel oil N° 2, gasoil, gasóleo o diesel (46): es una fracción del petróleo que se obtiene como residuo en la destilación fraccionada, clasificado con el número 2 y que hace referencia al proceso de destilación.

Fuel oil N° 6 (46): es un remanente del crudo luego que la gasolina y los fueloil destilados son extraídos a través de la destilación. El fuel oil N° 5, pertenece a esta categoría de fuel oil. El que mas se elabora es el fuel oil N° 6. Este tipo de fuel oil, se conoce también como fueloil residual (RFO por sus siglas en inglés) o fueloil pesado.

Gas amargo (47) (48) (49) (50): Gas natural que contiene derivados del azufre (ácido sulfhídrico, mercaptanos, sulfuros y disulfuros). Las mayores cantidades significativas son de ácido sulfhídrico (H₂S). Cuando en el gas natural hay H₂S a nivel por encima de cuatro partes por millón (4 ppm) por cada pie cúbico de gas se dice que es un gas “amargo” y cuando la composición desciende a menos de 4

ppm se dice que es un gas “dulce”. El H₂S es altamente tóxico y corrosivo para los aceros al carbón. El gas amargo se trata usualmente con trietanolamina para remover los elementos indeseables.

Gas natural (50) (51): El gas natural es una fuente de energía no renovable formada por una mezcla de gases que se encuentra frecuentemente en yacimientos de petróleo, disuelto o asociado con petróleo o en depósitos de carbón. La mezcla de gases está compuesta principalmente por metano y en otras proporciones contiene dióxido de carbono, etano, propano, butano y nitrógeno, entre otros gases.

Riesgo país (52): se expresa en puntos básicos, 100 unidades equivalen a una sobretasa del 1%, es la diferencia entre el rendimiento que exige un inversionista al comprar bonos del Tesoro de Estados Unidos y al adquirir títulos de otras naciones. En términos monetarios, es la sobretasa que paga un país por sus bonos en relación a la tasa que paga el Tesoro de Estados Unidos. (53)

El índice de riesgo país en sí mismo no dice nada, sólo adquiere relevancia al compararlo con el valor del índice de otro país o países. Pero entre los distintos países las diferencias son notorias.