

Capítulo 3

Evaluación de niveles de generación convencional y cogeneración

Introducción

La cogeneración se define como la producción secuencial de energía eléctrica, mecánica y térmica aprovechable en los procesos industriales a partir de una misma fuente de energía primaria, y es hoy, una de las mejores alternativas como método de conservación de energía para la industria, acorde con las políticas de globalización económica regional e internacional orientadas a lograr un desarrollo sostenible.

La principal diferencia entre la generación convencional y la cogeneración es la cantidad de combustible empleado; en los sistemas de cogeneración el combustible utilizado para generar la energía eléctrica y térmica es mucho menor que el utilizado en los sistemas convencionales de generación eléctrica y térmica por separado, es decir, que del 100 % de energía contenida en el combustible, en una termoeléctrica convencional del orden del 33 % se convierte en energía eléctrica, el resto se pierde en gases de escape a través del condensador, las pérdidas mecánicas, eléctricas por transmisión y distribución entre otras.

3.1 Tecnologías de generación

Existen varias tecnologías que permiten la valorización de los recursos, el aprovechamiento de energía contenida en los residuos se realiza fundamentalmente en dos vertientes:

- *Procesos térmicos:* Aprovechamiento del poder calorífico de los recursos mediante un tratamiento térmico.
- *Biogasificación:* A partir de la generación de biogás generado como producto en la digestión anaerobia de materia orgánica procedente de residuos sólidos urbanos, biomasa residual húmeda, etc.

3.1.1 Gasificación

La gasificación es un proceso termoquímico en el que un sustrato carbonoso (biomasa) es transformado en un gas combustible de bajo poder calorífico, mediante una serie de reacciones que ocurren a una temperatura determinada en presencia de un agente gasificante; ejemplo en la Tabla 3.1, Conversión de la biomasa¹.

El agente gasificante puede ser tanto aire, oxígeno, aire enriquecido con oxígeno, vapor de agua o hidrógeno, de modo que se obtienen diferentes mezclas de gases que a su vez pueden tener diferentes utilidades, en la gasificación de biomasa, si se emplea aire como agente gasificante, se obtiene un gas de bajo poder calorífico aprovechable con fines energéticos, empleando oxígeno se obtiene un gas de menor poder calorífico pero de mayor calidad que se puede emplear como combustible o en la síntesis de metanol, mientras que aplicando vapor de agua se obtiene un gas rico en H₂ y CO₂, apto para la síntesis de gasolinas, metanol, etc., en el caso de emplear hidrógeno, se obtiene un gas con alto porcentaje de metano que puede llegar a sustituir al gas natural.

¹ www.iie.org.mx, 2010, consultado el 2 de abril del 2011.

El aprovechamiento energético de este gas puede hacerse quemándolo inmediatamente en una cámara de combustión, o introduciéndolo en una turbina de gas o un motor de combustión interna, otros usos pueden ser para la síntesis de productos químicos aprovechables.

La principal diferencia entre la incineración y estos procesos radica en la presencia de oxígeno; en la incineración, el proceso es de combustión completa en presencia de oxígeno, mientras que en la gasificación la reducción se realiza en ausencia o a baja concentración de oxígeno.

La elección del método para llevar a cabo el proceso de gasificación depende de varios factores como el tamaño y forma del residuo, el aprovechamiento de la energía del gas producido que vaya a hacerse y, por supuesto, de los condicionantes económicos; en cualquier caso se produce una serie de reacciones en el horno de pirólisis, oxidación y reducción o gasificación; en el primer caso se descompone el sólido original en una mezcla sólido-líquido-gas; en la segunda, reacciona el agente gasificante y libera la energía calorífica que mantiene el sistema y, por último, se produce la reducción del sólido remanente y se convierte en gas.

Tabla 3.1 Conversión de la biomasa

VIAS DE CONVERSIÓN DE LA BIOMASA							
Residuo de biomasa		Secado	Recol. /clas.		Proceso de conversión	Producto	Uso final
Forestales	Aserrín	*		}	Combustión directa	Gases de combustión	Estufas, hornos y calderas
	Leña	*				Pirólisis	Gases combustibles
	Corteza	*	*		Aceites combustibles		Hornos, calderas y motores
	Ramas	*	*		Carbón vegetal		Estufas, hornos y calderas
	Astillas	*	*		Gasificación	Gases combustibles	Hornos, calderas, motores y turbinas de gas
Agrícolas	Maleza	*					
Cosechas		*					
Urbanos	Estiércol		*		Digestión anaeróbica	Fertilizante orgánico	Campos de cultivo
	Agua negra		*			Fertilizante orgánico	Campos de cultivo
	Alimentos	*	*		Digestión anaeróbica	Metano puro	Hornos, calderas, motores, turbinas y celdas de hidrógeno
Madera		*	Biogás	Hornos, calderas, motores, turbinas y celdas de hidrógeno			
Industriales	Madera	*					
	Agua de procesos						
	Aceites y grasas	*					

Fuente: Bioenergía CONCYTEG, 2009

Planta de gasificación:

Las plantas de gasificación son plantas de pequeña potencia pensadas para su utilización en el punto de producción de la biomasa (normalmente residual), estos residuos de biomasa pueden tener distinto origen y serán utilizables siempre que cumplan unos requisitos en su composición.

En la planta de gasificación se transforma un residuo de biomasa en energía eléctrica y energía térmica, produciendo un subproducto (cenizas), reutilizable en otros procesos sin coste de gestión; las biomásas utilizables son: residuos forestales, agrícolas, ganaderos, industriales, sólidos urbanos, etc., no necesita de ningún combustible de apoyo, solamente una toma eléctrica.

Funcionamiento:

Hay tres fases o transformaciones básicas en el funcionamiento de estas plantas:

- *Acondicionamiento de la biomasa para ser gasificada:* La biomasa para entrar en el reactor gasificador debe cumplir unos requisitos de humedad y granulometría que se lo proporciona el acondicionamiento.
- *Producción del gas utilizable en el motor térmico por defecto de oxígeno:* en la que se alcanzan los 1300 °C; los reactivos son exclusivamente la biomasa y el aire, este gas arrastra partículas que para un funcionamiento sin problemas del motor, hay que eliminar; se hace con un tratamiento del gas, filtrado seco y húmedo.
- *Cogeneración a partir del gas de gasificación con generación de energía eléctrica y térmica:* se lleva a cabo en un motor especial para este gas que forma parte de un grupo electrógeno, el alternador produce energía eléctrica; a los humos de escape y el agua de refrigeración de camisas se les extrae la energía térmica mediante recuperadores de calor.

La biomasa es una fuente de energía renovable, por lo que estas plantas contribuyen a la mejora medio ambiental y disfrutan de las ventajas que se conceden desde la administración para su fomento, generación térmica a partir del gas de gasificación; se lleva a cabo en una caldera con quemador de gas. En términos generales se tiene:

Gasificación: proceso de conversión térmica del combustible (biomasa) a elevada temperatura y en condiciones reductoras para producir fundamentalmente gases combustibles.

Reacciones en el proceso: Se pueden emplear varios tipos de agentes gasificantes: aire, aire más vapor de agua, aire más hidrógeno, etc. La materia se oxida parcialmente para garantizar la energía necesaria para el proceso.



Etapas del proceso: Secado, pirolisis, combustión y reacciones de gasificación.

Transformaciones en procesos de producción, Tabla 3.2

Tabla 3.2 Transformaciones en procesos.

Elemento	C	H	N	S
Gasificación	CO	H ₂	N ₂	H ₂ S

Fuente: Elaboración propia

Usos potenciales: Puede obtenerse gas combustible para quemar, emplear el gas para la generación de electricidad con MCI (Motores de Combustión Interna) ó turbinas de gas ó conversión bioquímica para producción de etanol.

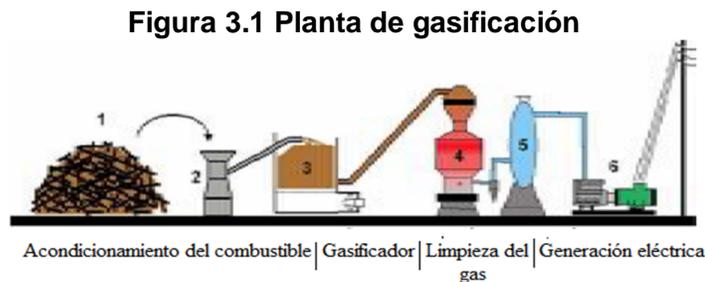
En el proceso de gasificación los rendimientos son diferentes de acuerdo a las diferentes fases de los residuos, siendo el rendimiento de estos los siguientes:

- Para fase sólida 12-15 %
- Para fase líquida 8-10 %
- Para fase gaseosa 80 %

Esquema de una planta de gasificación

La aplicación de los sistemas de gasificación se da en tres vertientes principalmente:

- Motores de combustión interna
- Turbina de gas
- Ciclo combinados



Fuente: www.recoveredenergy.com.mx

3.1.2 Incineración

Incineración: Es un proceso de conversión térmica del combustible (biomasa) con un agente oxidante (normalmente oxígeno) para producir fundamentalmente dióxido de carbono y agua.

Reacciones en el proceso: Se produce con un exceso de oxidante, para que la materia alcance la oxidación completa.



Etapas del proceso: Secado, pirolisis y la reacción de oxidación propia.

Transformaciones en procesos de producción, Tabla 3.3.

Tabla 3.3 Transformación de procesos.

Elemento	C	H	N	S
Incineración	CO ₂	H ₂ O	NO _x	SO _x

Fuente: **Elaboración propia**

Usos potenciales: Puede ser empleada para la obtención de calor directa o con calor indirecto, es decir, un intercambio térmico para generar electricidad a partir de un ciclo de vapor.

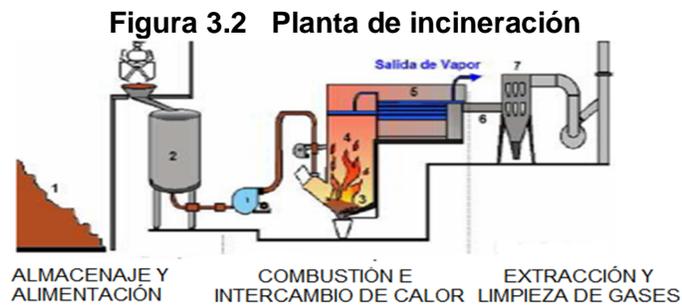
Eficiencia del proceso de incineración: entre un 20-25%.

Esquema de una planta de incineración

Los sistemas basados en la incineración del recurso, tienen unos rendimientos durante el proceso de quemado del residuo cercano al 95%, esta tecnología es una tecnología muy madura eficiente y competitiva con los combustibles fósiles.

Los componentes principales de estas plantas son los siguientes, Figura 3.2:

- Almacenamiento de combustible.
- Transporte y dosificación.
- Equipos de combustión: caldera parrilla/ lecho fluido/cámara torsional.
- Recuperadores auxiliares de calor.
- Depuración de gases.
- Extracción de cenizas.



Fuente: www.sick.com.mx

3.1.3 Digestores

La llamada digestión es uno de los procesos más antiguos empleados en la estabilización de lodos concentrados generados en la depuración de aguas residuales, consiste en la descomposición de materia orgánica en ausencia de oxígeno molecular².

La transformación biológica de la materia orgánica parece evolucionar en tres etapas:

- La primera etapa consiste en una transformación controlada por enzimas extracelulares en la que las moléculas orgánicas complejas y no disueltas se rompen en compuestos susceptibles de emplearse como fuente de materia y energía para las células de los microorganismos; esta fase se denomina de hidrólisis.
- La segunda etapa, controlada por bacterias, consiste en la transformación de los compuestos formados en la primera etapa en otros compuestos de peso molecular intermedio como dióxido de carbono, hidrógeno, ácidos y alcoholes alifáticos, metilamina, amoníaco y sulfhídrico; a su vez, los ácidos y alcoholes se van transformando por la acción de bacterias en ácido acético, hidrógeno y monóxido de carbono; esta etapa se denomina acidogénesis.

² TECNOCENCIA, Chihuahua, Vol. 2, N°2, 2008, consultado el 11 de marzo de 2011.

- La tercera y última etapa consiste en la transformación bacteriana del ácido acético y del ácido fórmico en dióxido de carbono y metano y la formación de metano a partir de dióxido de carbono e hidrógeno, el metano es un gas muy insoluble; esta etapa se denomina metanogénesis.

Por biodegradable se entiende un material que es capaz de ser descompuesto químicamente por la acción de microorganismos, en general, la primera etapa de biodegradación altera las propiedades físicas de los sólidos y ocasiona el llamado biodeterioro.

Las tecnologías anaeróbicas empleadas en la biodegradación de residuos se clasifican en dos grandes grupos:

- de baja concentración de sólidos o procesos húmedos
- de alta concentración de sólidos o procesos secos

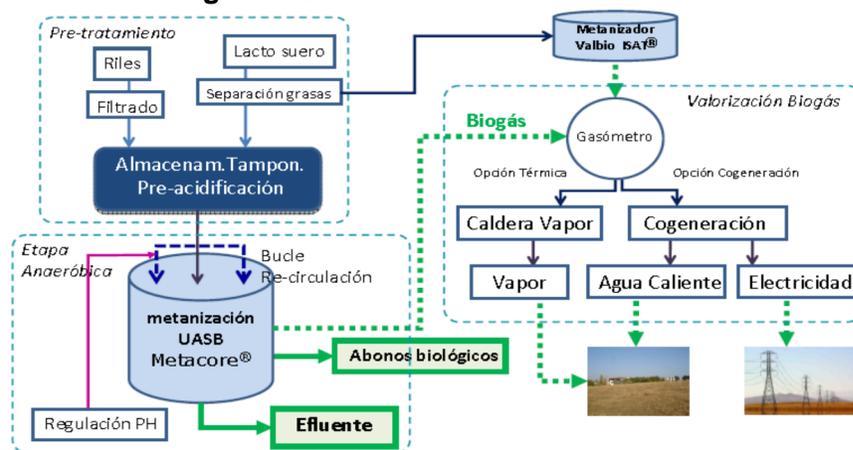
Metanización

La metanización es un proceso de depuración biológica natural de efluentes que se produce en ausencia de oxígeno en reactores cerrados y compactos, se desarrollan bacterias que utilizan la materia orgánica contaminante para sus necesidades energéticas y su reproducción en los reactores³. El carbono y el hidrógeno son transformados en gas rico en metano CH₄ y con gran poder calórico, las bacterias anaeróbicas se reproducen muy lentamente (1 vez cada 5 días) y, sobre todo, sobreviven sin “comida” durante largos períodos de tiempo, la depuración de los contaminantes permite mantener la población bacteriana de la biomasa.

El efluente entra en el metanizador (digestor), Figura 3.3; con lodo granulado sin previa corrección de PH (peróxido de hidrógeno); un separador trifásico (efluente – lodo – biogás) ubicado en la parte superior asegura la retención de lodos en el metanizador, la colecta del biogás y la recuperación de un efluente limpio. El biogás producido será contemplado para usar:

- En caldera, para producir vapor/calor
- En cogeneración para la producción de electricidad y agua caliente

Figura 3.3 Proceso de metanización.



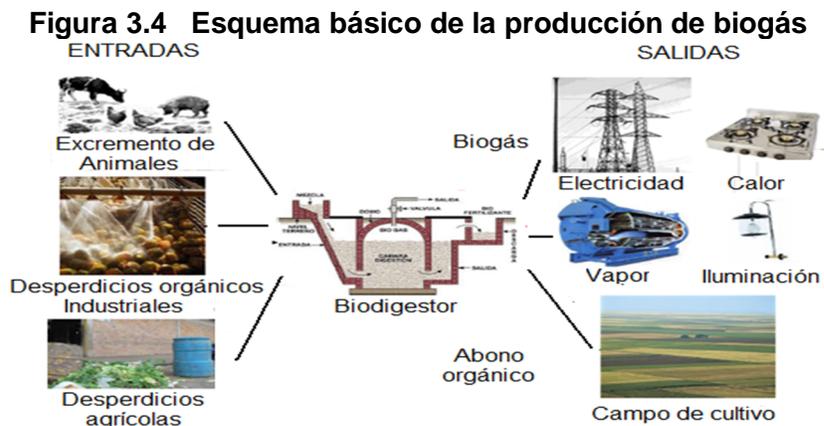
Fuente: www.egu.es

³ TECNOCENCIA, Chihuahua, Vol. 2, N°2, 2008, consultado el 23 de abril de 2011.

Un digestor es un contenedor que produce biogás y abono natural a partir de material orgánico principalmente excrementos (animales y humanos) y desechos vegetales, se trata de un sistema sencillo y económico que recicla los residuos orgánicos convirtiéndolos en energía y fertilizantes para usos agrícolas, ideal para comunidades rurales y países en vías de desarrollo⁴,

Los digestores son utilizados generalmente para tratar estiércol de bovinos y porcino, que generan una mayor cantidad de biogás, en el caso de usar este gas para generar energía eléctrica, el sistema alimenta a un motor diesel o de tipo rotativo conectado a un generador, mientras que para las aplicaciones térmicas, el gas es inyectado a un quemador que puede ser incorporado a calderas, hornos y secadoras, ver figura 3.4 Esquema básico de la producción de biogás.

El biogás es un gas que se genera en medios naturales o en dispositivos específicos, por las reacciones de biodegradación de materia orgánica, mediante la acción de microorganismos (bacterias metanogénicas, etc.), y otros factores, en ausencia de oxígeno (esto es, en un ambiente anaeróbico). El producto resultante es una mezcla constituida por metano (CH_4) en una proporción que oscila entre un 40% a un 70% y dióxido de carbono (CO_2), conteniendo pequeñas proporciones de otros gases como hidrógeno (H_2), nitrógeno (N_2), oxígeno (O_2) y sulfuro de hidrógeno (H_2S).

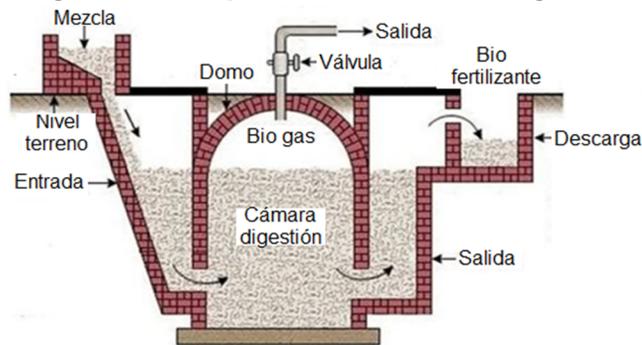


Fuente: www.biodisol.com.mx

La producción de biogás por descomposición anaeróbica es un modo considerado útil para tratar residuos biodegradables ya que produce un combustible de valor, además de generar un efluente que puede aplicarse como acondicionador de suelo abono genérico, este gas se puede utilizar para producir energía eléctrica mediante turbinas o plantas generadoras a gas, o para generar calor en hornos, estufas, secadoras, calderas u otros sistemas de combustión a gas, debidamente adaptadas para tal efecto, ver figura 3.5: Esquema básico de un digestor.

⁴ CONCYTEG, Planeación energética, 2010, consultado el 25 de abril de 2011.

Figura 3.5: Esquema básico de un digestor



Fuente: www.biodisol.com.mx

3.2 Aspectos comerciales y de desempeño

3.2.1 Disponibilidad.

La disponibilidad se utiliza en diversos ámbitos para hacer referencia a la posibilidad de que algo o un producto esté disponible a ser realizado, encontrado o utilizado; que esté disponible quiere a su vez que uno puede disponer de ello ya que es accesible, está al alcance de la mano o simplemente porque es posible hacerlo.

En este proyecto la disponibilidad se basa en los equipos que puedan tener las empresas para su posible compra en un futuro inmediato

3.2.2 Costos de inversión, O&M.

Son los recursos económicos contemplados en el proyecto, en particular con la compra de todos los equipos, accesorios y aditamentos necesarios para llevar a cabo la construcción del hotel. También se contemplan los costos para solventar de alguna manera el eventual mantenimiento preventivo-correctivo de los equipos, así como garantizar el correcto funcionamiento de los equipos instalados.

3.2.3 Confiabilidad.

La confiabilidad se basa en el buen funcionamiento de los equipos, de quién vende o produce los equipos, ya sea por años de experiencia en la rama y por el trabajo realizado en otros proyectos.

3.2.4 Eficiencia.

El concepto que se plantea es sobre el funcionamiento de los equipos, de diferentes compañías, haciendo referencia al que trabaja mejor en las condiciones planteadas del diseño, también es en base a comparaciones con otras empresas.

3.2.5 Instalación

Después de adquirir los equipos necesarios para el proyecto es pertinente saber la manera en cómo van a ser instalados, observar las dimensiones de los equipos, estructura, ventilación, etc., así también el personal calificado para su instalación.

De manera específica se definen algunos conceptos generales de los siguientes equipos, con la finalidad de entender su funcionamiento:

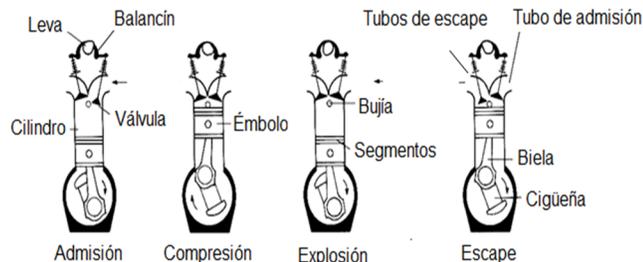
- Motor de combustión interna
- Turbina de gas
- Calderas

Motor de combustión interna

Un motor de combustión interna es un tipo de máquina que obtiene energía mecánica directamente de la energía química de un combustible que arde dentro de una cámara de combustión; su nombre se debe a que dicha combustión se produce dentro de la máquina; estos motores trabajan en cuatro tiempos que son la admisión, la compresión, la explosión y el escape⁵.

La siguiente Figura 3.6, ilustra los cuatro tiempos del motor de combustión interna.

Figura 3.6 Los cuatro tiempos del motor de combustión interna



Fuente: www.bibliotwcadigital.ilce.edu.mx

En el primer tiempo o admisión, el cigüeñal arrastra hacia abajo el émbolo, aspirando en el cilindro la mezcla carburante que está formada por gasolina y aire procedente del carburador.

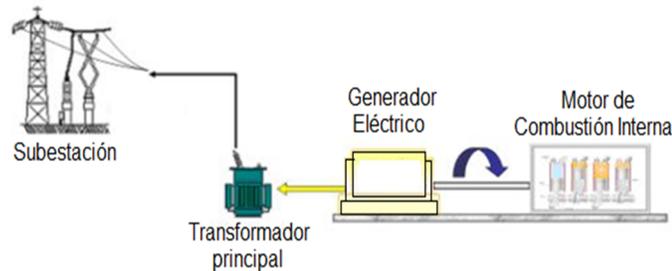
En el primer tiempo, se abre la válvula de admisión que permite la entrada de una mezcla aire-vapor de gasolina, mientras el pistón baja hasta llenar la cámara de combustión del cilindro, en el segundo tiempo se efectúa la compresión, el cigüeñal hace subir el émbolo, el cual comprime fuertemente la mezcla carburante en la cámara de combustión.

En el tercer tiempo, se efectúa la explosión cuando la chispa que salta entre los electrodos de la bujía inflama la mezcla, produciéndose una violenta dilatación de los gases de combustión que se expanden y empujan el émbolo, el cual produce trabajo mecánico al mover el cigüeñal, que a su vez mueve las llantas del coche y lo hace avanzar. Por último; en el cuarto tiempo, los gases de combustión se escapan cuando el émbolo vuelve a subir y los expulsa hacia el exterior.

Las plantas de combustión interna, Figura 3.7; están equipadas con motores de combustión interna en la que aprovechan la expansión de gas de combustión para obtener energía mecánica, que luego se transforma en energía eléctrica en el generador, las plantas de combustión interna son usualmente alimentadas por gasóleo.

⁵ www.wikipedia.com.mx, 2010, consultado el 28 de abril de 2011.

Figura 3.7: Planta de combustión interna



Fuente: www.bibliotecadigital.ilce.edu.mx

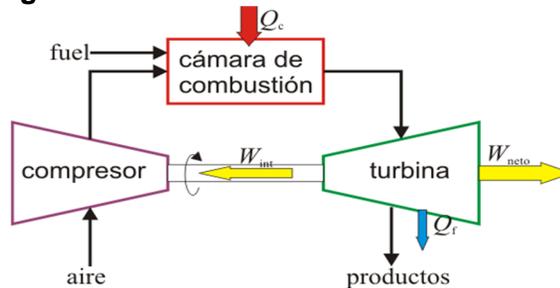
Turbina de gas

Una turbina de gas es un motor térmico rotativo de flujo continuo que se caracteriza por presentar una baja relación peso potencia y una gran velocidad de giro muy elevada; la elevada velocidad del giro, que en función del tamaño puede llegar a alcanzar valores de hasta 40000 revoluciones por minuto, como en la Figura 3.7; orienta su utilización a una unidad de generación de gases con elevada entalpía que puede utilizarse para propulsión a reacción o puede ser la encargada de accionar una turbina de potencia acoplada a un eje, en la que puede acoplarse cualquier tipo de carga⁶

De este modo la turbina de gas la forman dos elementos principales:

- El generador de gases
- La unidad generadora de potencia

Figura 3.8: Funcionamiento de una turbina



Fuente: www.fisicanet.ar

El generador de gases está formado a su vez por uno o varios compresores, la cámara de combustión, donde se mezclará el combustible con el aire y donde tendrá lugar la combustión, y finalmente la o las turbinas de expansión de gases, que en este caso sólo obtendrán la potencia necesaria para mover los compresores.

La unidad generadora de potencia es donde se obtendrá la potencia útil de la máquina, dependiendo de la aplicación, será otra turbina de expansión de gases, o bien, una tobera propulsión.

Calderas

⁶ Turbinas de gas, CIE, UNAM, 2008, consultado el 22 de mayo de 2011.

El objetivo de las calderas de vapor es la transformación del agua, a temperatura y presión ambientes, en vapor de agua a una presión y temperatura mayor, partiendo de la energía del combustible utilizado. Su potencia o tamaño abarca un espectro muy amplio, desde las calderas de poca potencia utilizadas en la pequeña empresa, hasta las utilizadas por las grandes plantas generadoras de energía eléctrica⁷.

Las calderas forman parte de los equipos más utilizados por la industria y junto con los hornos industriales, son los responsables del mayor porcentaje de consumo de combustibles en este sector, por lo tanto, el mantenerlas trabajando con una buena eficiencia reditúa beneficios importantes para las empresas.

El poder calorífico bruto (PCB), es la cantidad total de energía en el combustible, sin embargo, la mayoría de los combustibles contienen hidrógeno, que durante el proceso de combustión se mezcla con el oxígeno del aire para formar agua, la cual pasa a la chimenea en forma de vapor.

Tabla 3.4 Poder calorífico de combustibles

TIPO DE COMBUSTIBLE	PODER CALORÍFICO NETO
Carbón térmico	19,405 MJ/t
Gasolinas y naftas	4,872 MJ/bl
Coque de petróleo	30,675 MJ/t
Gas licuado	3,765 MJ/bl
Diesel	5,426 MJ/bl
combustóleo	6,019 MJ/bl
Gas natural	33,913 KJ/m ³
Biomasa (residuo de caña)	7,055 MJ/t

Fuente: SENER, balance de energía, 2005.

El poder calorífico neto (PCN), es la cantidad de calor que se produce en la combustión, algunos de los productos se muestran en la Tabla 3.4. Poder calorífico de combustibles, con exclusión del calor no recuperable; equivale al calor del proceso de combustión que se aprovecha en la práctica, para el carbón (sólidos) y los combustibles líquidos es un 5% menor que el PCB, para las diversas modalidades de gas natural y procesados es del 10 %, mientras que en la electricidad no hay diferencia alguna entre el PCB y PCN⁸.

Aunque se pueden hacer muchas clasificaciones de calderas de acuerdo con diferentes criterios, se puede decir que hay dos tipos generales de calderas: las pirotubulares (tubos de humo) y las acuotubulares (tubos de agua) y dentro de éstas últimas hay diferencia entre calderas con caldera de agua-vapor y calderas de paso único, adicionalmente, las calderas se pueden clasificar en alta y baja presión, de vapor saturado o sobrecalentado.

A continuación se presentan algunos fabricantes de equipos que se necesitan para la instalación de energía térmica y eléctrica del hotel.

Motores de combustión interna

Fabricante: Kohler

⁷ SENER, balance de energía, 2005, consultado el 28 de mayo de 2011.

⁸ SENER, balance de energía, 2005, consultado el 28 de mayo de 2011.

Kohler de México S.A. de C.V., fue establecida en la ciudad de México, D.F. el 30 de Marzo de 1964 dando inicio a la fabricación de motores de combustión interna a cuatro tiempos en México. Kohler ha sido un pionero en la industria de motores utilitarios con un monumental número de innovaciones, entre ellos los alzavalvulas hidráulicos, inyección electrónica de combustible y el enfriamiento por líquido de flujo paralelo....

Demanda de potencia:

De 4 a 40 caballos de potencia (HP) los motores de 4 tiempos

Fabricante: Yanmar

Produce motores a diesel desde 1933, en la actualidad manufactura 15 millones de motores con capacidad de 4.5 a 5,000 HP; hoy en día, es líder en Norte América creando equipos para satisfacer las necesidades como: generación de energía, aplicaciones militares y en la agricultura.

Fabricante: Perkins

Por 75 años, ha sido líder en el campo del diseño y manufactura en los motores a diesel de más alto rendimiento; el desarrollo de los programas permiten ofrecer la más avanzada y rangos determinados para la construcción de motores diesel o gas.

El rango de valores es ente 3 y 2600 HP; lo cual ofrece una amplia gama de aplicaciones desde el área de manufactura, generación, agricultura, etc.

Turbinas

Fabricante: Solar Turbines

La turbina de gas es del tipo motor de combustión, esencialmente el motor puede verse como un dispositivo de conversión de energía que convierte la energía almacenada en el combustible a útil energía mecánica en forma de energía rotacional; el término gas, se refiere al aire ambiente que se toma en el motor y se utilizan como el medio de trabajo en el proceso de conversión de energía.

Este aire se introduce en el motor donde se comprime, para mezclarse con el combustible y asegurar la ignición; el gas caliente resultante se expande a gran velocidad a través de una serie de módulos y la transfiriendo la energía para activar un eje secundario; la energía térmica residual puede aprovecharse para una variedad de procesos industriales.

Fabricante: Mitsubishi

Turbinas de vapor

Desde 1908, Mitsubishi Heavy Industries (MHI) ha diseñado, fabricado e instalado una amplia variedad de turbinas de vapor; Esta gama comprende desde pequeñas turbinas de un solo cuerpo, hasta turbinas de vapor para centrales nucleares. MHI ha suministrado más de 1300 turbinas de vapor con una potencia total que supera los 140,000 MW

En particular, MHI tiene gran experiencia en las turbinas de 1000MW, con frecuencias de 50 o 60Hz y combustibles fósil o nuclear.

Turbinas de gas

Mitsubishi Heavy Industries (MHI) ofrece un amplio abanico de turbinas de gas, desde turbinas de 6MW para aplicaciones aeronáuticas, hasta turbinas de 330MW para generación eléctrica.

En la actualidad, MHI ha desarrollado la turbina de gas más avanzada del mundo, la Serie G, que gracias a su innovadora tecnología propia consigue una temperatura de entrada de 1500°C. Las turbinas de gas de la Serie G se están comercializando con gran éxito desde 1997.

Fabricante: Vericor

De gran poder, alta eficiencia y disponibilidad para la generación eléctrica, con más de 15 millones de horas en uso; se puede utilizar el encendido y el apagado de manera continua

Fabricante: Siemens

Turbinas de gas

La gama de turbinas de gas Siemens es diseñada y perfeccionada para cumplir con los retos de un mercado dinámico, cuentan con 14 modelos de capacidades desde 4 hasta 375 MW, son diseñados pensando en su rentabilidad; cualquiera que sea la aplicación, las turbinas cumplen con los requerimientos de eficiencia, confiabilidad y compatibilidad con el medio ambiente, generando bajos costos de ciclo de vida y el mejor retorno de inversión posible.

Turbina de vapor

Siemens ofrece una gama completa de turbinas de vapor desde 45 kW hasta 1.900 MW, con la flexibilidad de ajustarse a los requerimientos específicos de cada aplicación especial.

La turbina de gas SGT-400 ofrece una potencia de salida entre 12.90 MW hasta 13.40 MW, con configuración mecánica, se encuentra equipada con un sistema de baja emisión de NOX para gas, combustibles comunes y combustible duales, tiene una eficiencia del 34.8 %; en aplicaciones para cogeneración tiene una alta rentabilidad en costo-operación, creando plantas más eficientes.

Fabricante: IHI Power systems

Cuenta con una línea para plantas de generación y cogeneración, basado en el sistema de aeroderivaciones en las turbinas de gas, estas turbinas poseen una alta eficiencia y rentabilidad, además de ser práctica:

- Flexibilidad en la demanda del usuario
- Alta eficiencia.
- Sistema compacto

- Bajos niveles de NOx
- Rentabilidad
- Pequeñas vibraciones y reducción de ruido
- Bajo costo

Fabricante: General Electric (G.E.)

Ofrece turbinas de gas que generan desde 26 hasta 480 MW, para diferentes aplicaciones, generación eléctrica, cogeneración, entre otros.

Se utiliza hasta el 60 % del combustible de manera eficiente, con el sistema avanzado integrado a la turbina de gas, turbina de vapor, generador y recuperación de calor y vapor en la

generación, optimizando cada componente, con aplicaciones de 50 y 60 Hz, cuenta con la más alta eficiencia en la salida de generación eléctrica lo que reduce el costo de electricidad.

Calderas

Fabricante: Calderas Powermaster 80-1200 HP

- Capacidad: 80 a 1200 HP.
- Alta presión: Hasta 21 kg/cm² (300 psi) ASME sección I.
- Temperatura: Hasta 216°C.
- Servicio: Vapor saturado seco.
- Combustible: Diesel, Gasóleo, Combustóleo, Gas L.P., Gas Natural o Duales.

Características:

- Caldera de tubos de humo de tres pasos, tipo Wet-Back.
- Diseño y fabricación con estricto apego al código ASME sección I y sección IV.
- Tubo cañón corrugado en caliente y de bajo coeficiente de fatiga por calor (Larga vida útil).
- Panel de control integrado.
- Operación automática.
- Cámara de retorno de gases de combustión totalmente enfriada por agua (Wet-Back).
- Puertas delanteras y traseras con bisagras para fácil acceso a las cámaras de humo.
- Compuertas de alivio de presión de gases de combustión.
- Base de acero estructural, escalerilla y plataforma de servicio.

Fabricante: Calderas Powermaster 20- 40 HP vertical

- Capacidad: 20 y 40 HP (C.C.)
- Presión: 85 PSI = 6.0 kg/cm²
- (Hasta 250 PSI = 17.5 kg/cm²)
- Servicio: Vapor saturado seco.
- Combustible: Gas L.P. o Gas Natural.
- Alimentación eléctrica requerida: 115 V monofásica.

Características:

- Caldera de tubos de humo de cuatro pasos.
- Diseñada y fabricada con estricto apego al código ASME, sección I.
- Operación automática.
- Base de acero estructural.

Fabricante: Cleaver Brooks

SELMEC, ofrece la variedad más amplia de calderas industriales y equipos auxiliares para la generación de vapor o agua caliente; calderas con capacidades desde 20 hp hasta 280,000 lb/hr de vapor saturado o sobrecalentado, en tipo:

- Tubos de fuego 5 a 1500 HP
- Tubos de agua hasta 130 tons/ hr. de vapor

Caldera tipo DryBack o Wet Back con ventilador de tiro forzado.

Construida y estampada (opcional) con código ASME y UL, incluye registro de estampado de estos sellos.

Capacidades disponibles CC (Caballos caldera):

20, 40, 60, 80, 100, 125, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 500, 600, 700, 800

Combustibles disponibles:

- Gas natural
- Gas L.P.
- Diesel
- Combustóleo
- Biogás o combinación

De manera general en la siguiente, tabla 3.5 Comparación de diferentes tecnologías de cogeneración, se muestran los diferentes parámetros que tienen los equipos, características que definen el comportamiento en diferentes circunstancias.

Tabla 3.5: Comparación de diferentes tecnologías de cogeneración

Características	Motor diesel	Motor gas natural	Turbina de vapor	Turbina de gas	Microturbinas	Celdas de combustible
Eficiencia eléctrica	30-50 %	25-45 %	30-42 %	25-40% Sim. 40-60%Comb.	20-30 %	40-70 %
Generación(MW)	0.05-5	0.05-5	10-1300	3-200	0.025-0.25	0.2-2
Capacidad (m ² /MW)	0.02	0.02-0.03	0.009	0.002-0.06	0.014-0.14	0.056-0.37
CHP Costo de instalación (\$/KW)	800-1500	800-1500	800-1000	700-900	500-1300	>3000
Costo de O&M (\$/kWh)	0.005-0.008	0.007-0.015	0.004	0.002-0.008	0.002-0.01	0.003-0.015
Disponibilidad	90-95%	92-97%	* 100 %	90-98%	90-98%	> 95%
Interv. de mantto. (Hrs)	25,000-30,000	24,000-60,000	>50,000	30,000-50,000	5,000-40,000	10,000-40,000
Tiempo de inicio	10 s.	10 s.	1hr-1 día	10 min-1 hr	60 s.	3 hr.- 2 días
Presión del combustible (bar)	< 0.35	0.07-3.1	(Comb. Externa)	8.6-34.5 (req. Comp.)	2.8-7 (req. Comp.)	0.03-3.1
Combustibles	Diesel y comb. de residuos	Gas natural, biogás, propano	Todos	Gas natural, biogás, propano, aceite.	Gas natural, biogás, propano, aceite	Hidrógeno, Gas natural, propano
Ruido	Mod.-Alto	Mod. -Alto	Mod. -Alto	Moderado	Moderado	Bajo
Emisión de NO ₂ (kg/MW hr)	1.35-15	1-12.6	0.8	0.13 -1.8	0.18-1	<0.009
Utiliza para a la recuperación de calor	Agua cal., vapor LP, calef. Urbana	Agua cal., vapor LP, calef. Urbana	Vapor LP-HP, calef. Urbana	Calor directo, agua cal., vapor LP-HP, calef. Urbana	Calor directo, agua cal., vapor LP	Agua cal., vapor LP-HP
Temp. de CHP utilizable (°C)	80-480	150-260		260-590	200-340	60-370

Fuente: www.conuee.gob.mx

3.3 Evaluación de niveles de generación convencional y cogeneración

Como parte de la evaluación de las tecnologías convencionales y de cogeneración, se utilizó el programa Termoflex para poder simular las condiciones de operación del proyecto; en estas simulaciones se pueden apreciar los datos recabados así como los datos generados a partir de la simulación.

3.3.1 Capacidad

Para tomar en cuenta lo necesario para el correcto funcionamiento del diseño es preciso conocer la capacidad de los equipos, simplemente con el objetivo de no tener sobrado el sistema planteado, esto quiere decir que la capacidad del equipo va de la mano con el consumo eléctrico-térmico que se requiere.

3.3.2 Generación

La generación se va a dar de la transformación de algún tipo de combustible, gasóleo, diesel, biogás, gas síntesis, entre otras (energía química), en energía eléctrica; de manera particular, en este proyecto se contemplan las opciones de turbina de gas, motor o calderas. De acuerdo al equipo que se pretende utilizar (turbina, motor o caldera), se le proveerá de algún tipo de combustible y mediante la reacción química, generará la energía eléctrica

3.3.3 Consumo de combustible

De los combustibles contemplados son: gasóleo, diesel, biogás (a base de residuos orgánicos), gas síntesis (con residuos de madera y residuos de sorgo y maíz).

Para poder elegir cuál de estos combustibles o biocombustibles es el idóneo, se tomaron en cuenta factores como costo del combustible y transporte, disponibilidad en la región y compatibilidad con los equipos para conseguir el óptimo funcionamiento de los equipos.

3.3.4 Factor de planta

El factor de planta viene dado por la relación que existe entre el dividir la energía real generada, entre la energía generada a plena carga, durante un mismo periodo de tiempo.

En la práctica, el factor de planta no es nunca del 100 % y se ve disminuido por las siguientes circunstancias:

- Las operaciones de mantenimiento, las fallas que se pudieran presentar en los equipos.
- La ausencia de demanda de electricidad que obliga a disminuir la generación de electricidad.
- La intermitencia o irregularidad de la fuente de energía, retraso en entrega de combustibles u otro tipo de energía alternativa.

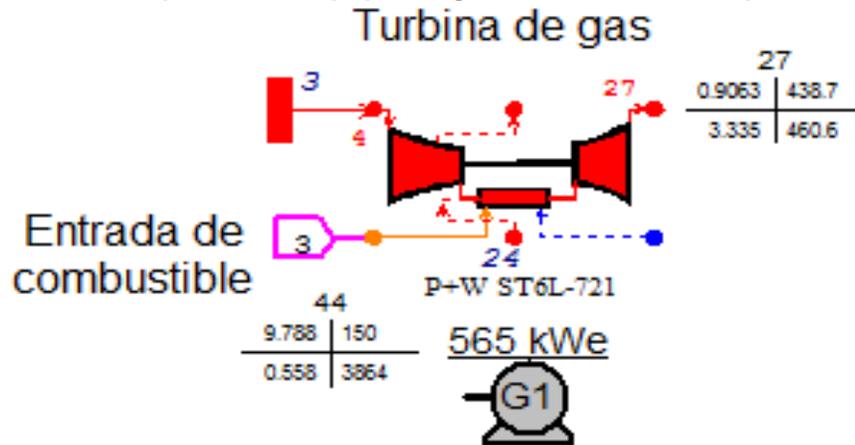
Proceso de producción de energía Térmica-Eléctrica, simulación en programa Termoflex.

Los esquemas siguientes se describen los equipos de manera individual para posteriormente ver el esquema con todos los equipos que se tienen en la simulación.

Esquema de cogeneración con turbina de gas operando con gas síntesis generado a partir de biomasa (residuos de madera).

Mediante procesos químicos, el gas síntesis se obtiene del gasificador que pasa a través de un intercambiador de calor de donde se obtienen los valores con las siguientes características:

Figura 3.10 Esquema del equipo de generación eléctrica (Turbina de gas).



Fuente: Programa Thermoflex

De la figura anterior se obtienen los siguientes resultados.

Tabla 3.8 Resultados del proceso

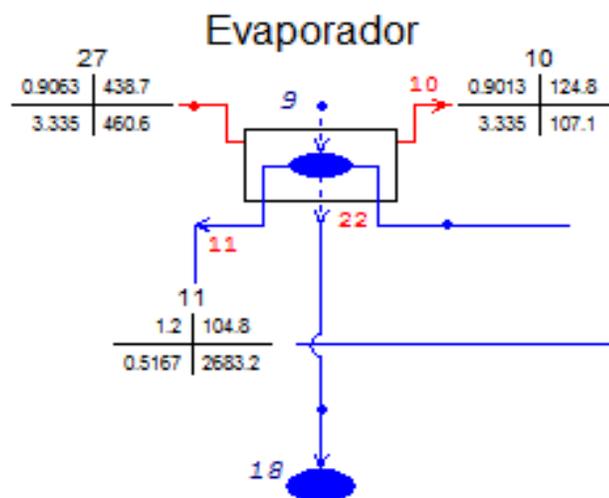
VALOR	UNIDAD
0.9063	bar
438.7	°C
3.335	kg/s
460.6	kJ/kg

Fuente: Elaboración propia

El flujo de agua y vapor generado dentro de la caldera de recuperación pasa por los siguientes equipos:

Evaporador: Ayuda a disminuir la temperatura del flujo de agua para enviarlo al cabezal y el economizador con los siguientes valores:

Figura 3.11 Esquema del evaporador



Fuente: Programa Thermoflex

De la figura anterior se obtienen los siguientes resultados.

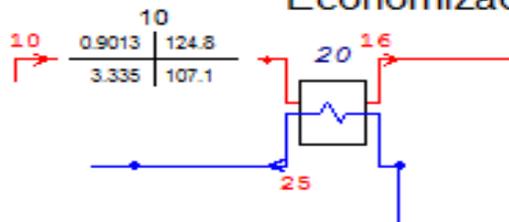
Tabla 3.9 Resultados del proceso

VALOR	UNIDAD
1.2	bar
104.8	°C
0.5167	kg/s
2683.2	kJ/kg

Fuente: Elaboración propia

Economizador: Evita el flujo masivo de vapor, evitando desperdiciar lo menos posible, estas pérdidas se disipan en la chimenea.

Figura 3.12 Esquema del economizador



Fuente: Programa Thermoflow

De la figura anterior se obtienen los siguientes resultados.

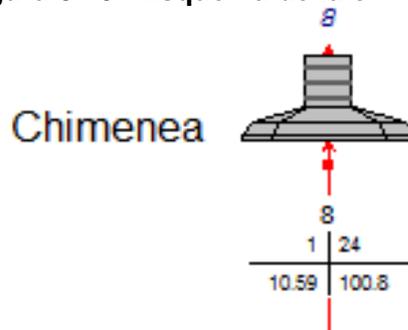
Tabla 3.10 Resultados del proceso

VALOR	UNIDAD
0.9013	bar
124.8	°C
3.335	kg/s
107.1	kJ/kg

Fuente: Elaboración propia

Chimenea: Se disipan los excesos de vapor que vienen desde el evaporador pasando por el economizador con los valores:

Figura 3.13 Esquema de la chimenea



Fuente: Programa Thermoflow

De la figura anterior se obtienen los siguientes resultados.

Tabla 3.11 Resultados del proceso

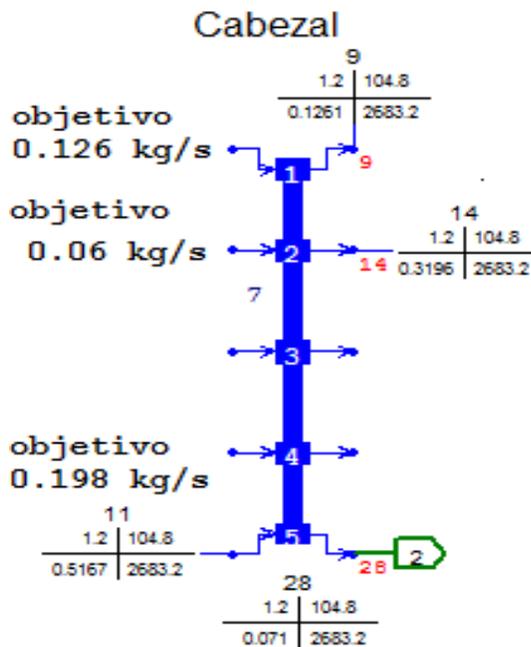
VALOR	UNIDAD
1	bar
24	°C
10.59	kg/s
100.8	kJ/kg

Fuente: Elaboración propia

El flujo energético recuperado, después paso al cabezal o manifold para su distribución a los diferentes procesos que demanda la energía térmica en forma de vapor o agua caliente.

Cabezal o manifold: Es el que se encarga de distribuir el flujo de agua y vapor hacia los diferentes servicios de aire acondicionado, alberca y tomas de agua para utilización (agua caliente en regaderas, lavabos, cocina y lavandería), con los siguientes valores.

Figura 3.14 Esquema del cabezal o manifold.



Fuente: Programa Thermoflow

De la figura anterior se obtienen los siguientes resultados.

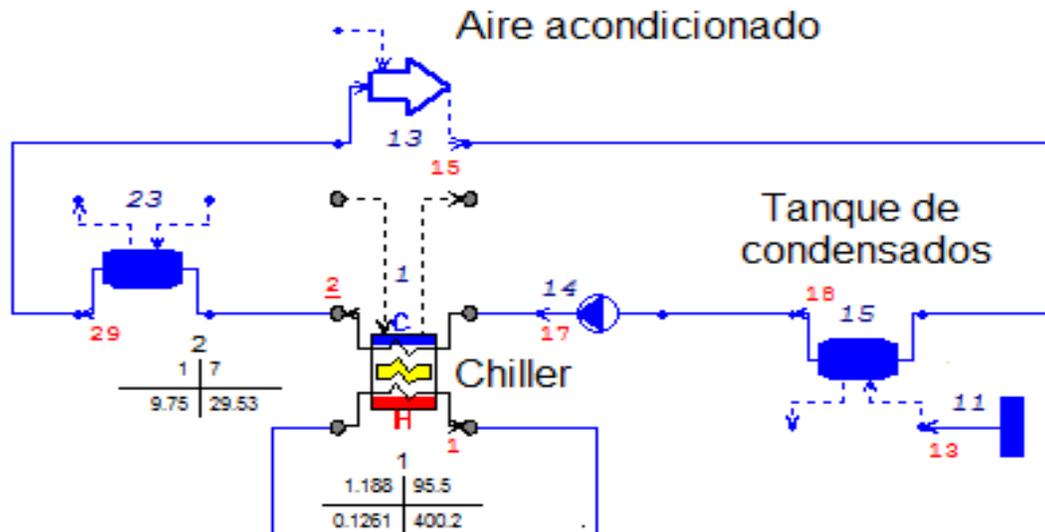
Tabla 3.12 Resultados del proceso

AIRE ACONDICIONADO		ALBERCA		SERVICIO DE AGUA CALIENTE	
VALOR	UNIDAD	VALOR	UNIDAD	VALOR	UNIDAD
1.2	Bar	1.2	bar	1.2	Bar
104.8	°C	104.8	°C	104.8	°C
0.1261	Kg/s	0.3196	Kg/s	0.0701	Kg/s
2683.2	kJ/kg	2683.2	kJ/kg	2683.2	kJ/kg

Fuente: Elaboración propia

Aire acondicionado: Es el encargado de dar confort a las diversas áreas del hotel, trabaja en conjunto con los siguientes equipos; el enfriador de agua ó chiller es un caso especial de máquina de refrigeración cuyo cometido es enfriar un medio líquido, generalmente agua; en modo bomba de calor también puede servir para calentar ese líquido; también cuenta con otro equipo que es un sistema Fan & Coil, estos equipos utilizan el sistema de ventilador y serpentín, lo hay de agua helada y de expansión directa; de la simulación se obtienen los siguientes valores, además se recicla el agua mediante una bomba para volver a ser utilizada:

Figura 3.15 Esquema del sistema de aire acondicionado



Fuente: Programa Thermoflex

De la figura anterior se obtienen los siguientes resultados

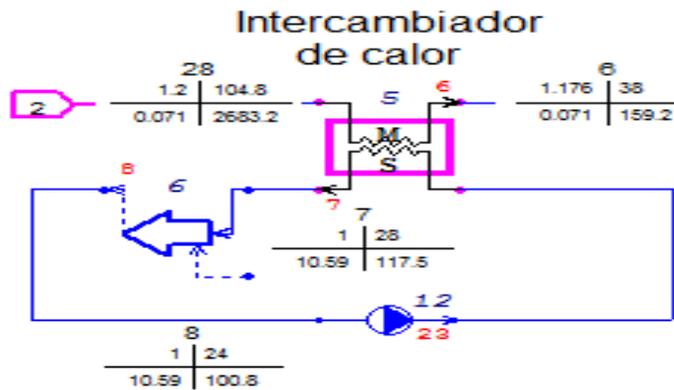
Tabla 3.13 Resultados del proceso

AGUA HELADA		AGUA CALIENTE	
VALOR	UNIDAD	VALOR	UNIDAD
1	Bar	1.188	Bar
7	°C	95.5	°C
9.75	Kg/s	0.1261	Kg/s
29.53	kJ/kg	400.2	kJ/kg

Fuente: Elaboración propia

Alberca: Es la parte recreativa del hotel; el flujo de agua proviene del cabezal, pasando por un intercambiador de calor con los siguientes valores, además se recicla el agua mediante una bomba para volver a ser utilizada.

Figura 3.16 Esquema del sistema de la alberca



Fuente: Programa Thermoflex

De la figura anterior se obtienen los siguientes resultados

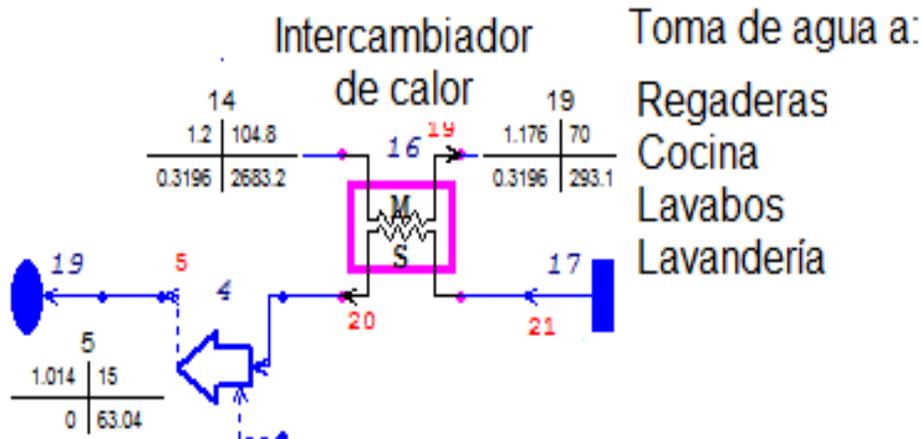
Tabla 3.14 Resultados del proceso

VALOR	UNIDAD
1	Bar
28	°C
10.59	Kg/s
117.5	kJ/kg

Fuente: Elaboración propia

Tomas de agua: Regaderas, lavabos, cocina y lavandería son las secciones de consumo; mediante un intercambiador de calor se obtienen los valores de la simulación; a diferencia de los equipos de aire acondicionado y la alberca, en estas tomas de agua el flujo del mismo se pierde a la hora de su consumo por lo que se tiene pérdidas.

Figura 3.17 esquema de distribución a regaderas, cocina, lavabos y lavandería



Fuente: Programa Termoflex

De la figura anterior se obtienen los siguientes resultados

Tabla 3.15 Resultados del proceso

VALOR	UNIDAD
1.014	Bar
15	°C
0	Kg/s
63.04	kJ/kg

Fuente: Elaboración propia

De lo anterior se puede concluir con la siguiente tabla:

Tabla 3.16 Resultados obtenidos de la simulación en el programa Termoflex.

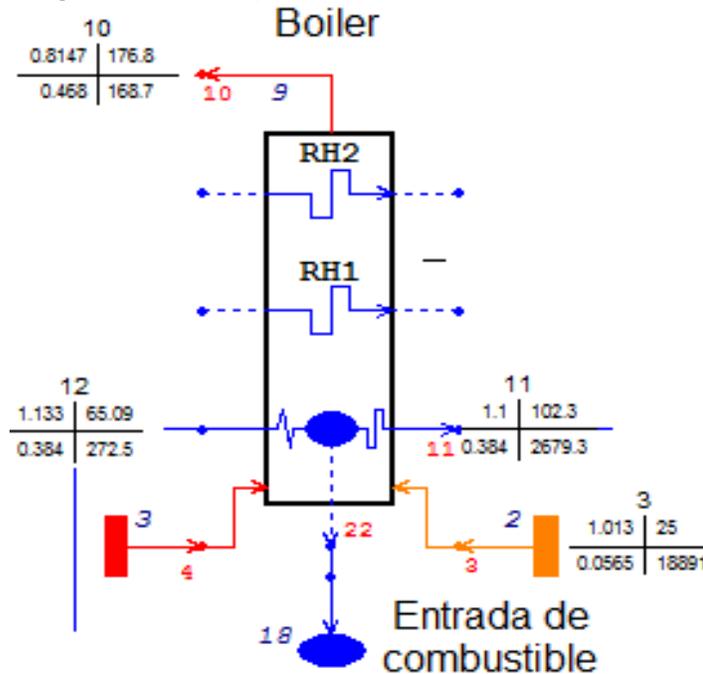
Parámetros		CHP turbina gas síntesis residuos de madera con Oxígeno
Altitud	m	1800
Temperatura	°C	28
Generación Bruta	KW	565.4
Generación Neta	KW	354.7
Consumo Neto de combustible PCI	KW	4286
Eficiencia de CHP	%	52.81
Consumo de auxiliares	KW	210.8
Consumo de agua	kg/s	20.74
Vapor a proceso regaderas	KW	1136.2
Vapor a proceso aire	KW	287.9
Vapor a proceso alberca	KW	1245.1
Vapor a proceso excedente	KW	838.9
Vapor total a proceso	KW	3508.1
Potencia eléctrica demandada	KW	82.9
Potencia térmica demandada	KW	1471
Excedente eléctrico	KW	271.80
Excedente térmico	KW	2037.10

Fuente: Programa Termoflex

Esquema convencional biogás

Mediante procesos químicos, el biogás se obtiene de un biodigestor, este combustible ingresa al boiler para el proceso de combustión de donde se obtienen los valores con las siguientes características:

Figura 3.18 Esquema de la estructura del boiler



Fuente: Programa Thermoflex

De la figura anterior se obtienen los siguientes resultados

Tabla 3.17 Resultados del proceso

VALOR	UNIDAD
5	bar
25	°C
0.0736	Kg/s
20758	kJ/kg

Fuente: Elaboración propia

En el proceso de diseño en el programa Termoflex se contemplaron los siguientes parámetros:

Tabla 3.18 Parámetros que se contemplaron en el diseño

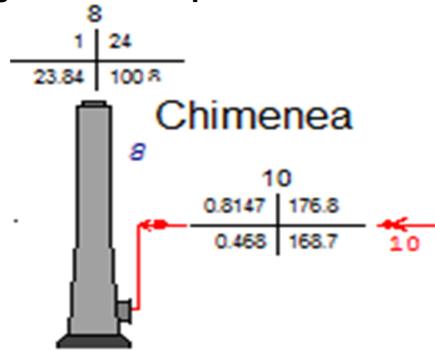
Parámetros de diseño	1.1	bar
	102.3	°C
	0.384	kg/s

Fuente: Elaboración propia

Del boiler se calienta el agua, en este proceso se tiene pérdidas que se disipan en:

Chimenea: Del boiler se tienen pérdidas (vapor) que se disipan por la chimenea con los siguientes valores.

Figura 3.19 Esquema de la chimenea



Fuente: Programa Thermoflex

De la figura anterior se obtienen los siguientes resultados

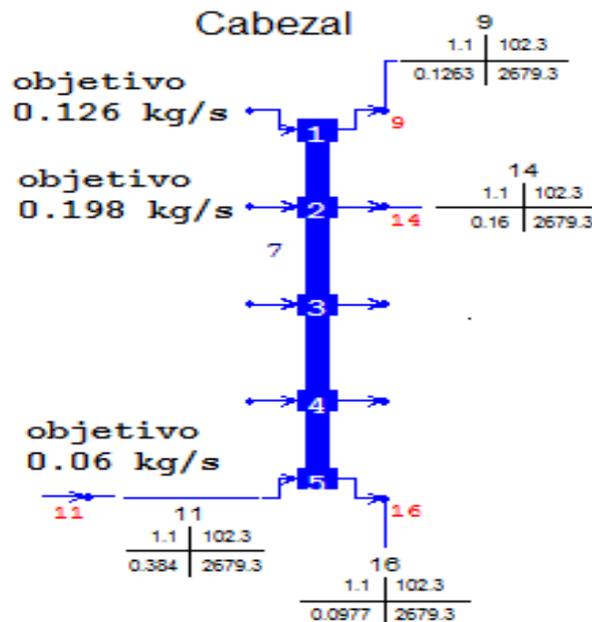
Tabla 3.19 Resultados del proceso

VALOR	UNIDAD
1	bar
24	°C
23.84	Kg/s
100.8	kJ/kg

Fuente: Elaboración propia

Cabezal o maniful: El flujo de agua proveniente del boiler pasa al cabezal y este equipo es el que se encarga de distribuir el flujo de agua hacia los diferentes servicios de aire acondicionado y tomas de agua para utilización (agua caliente en regaderas, lavabos, cocina y lavandería), con los siguientes valores.

Figura 3.20 Esquema del cabezal o maniful



Fuente: Programa de Thermoflex

De la figura anterior se obtienen los siguientes resultados

Tabla 3.20 Resultados del proceso

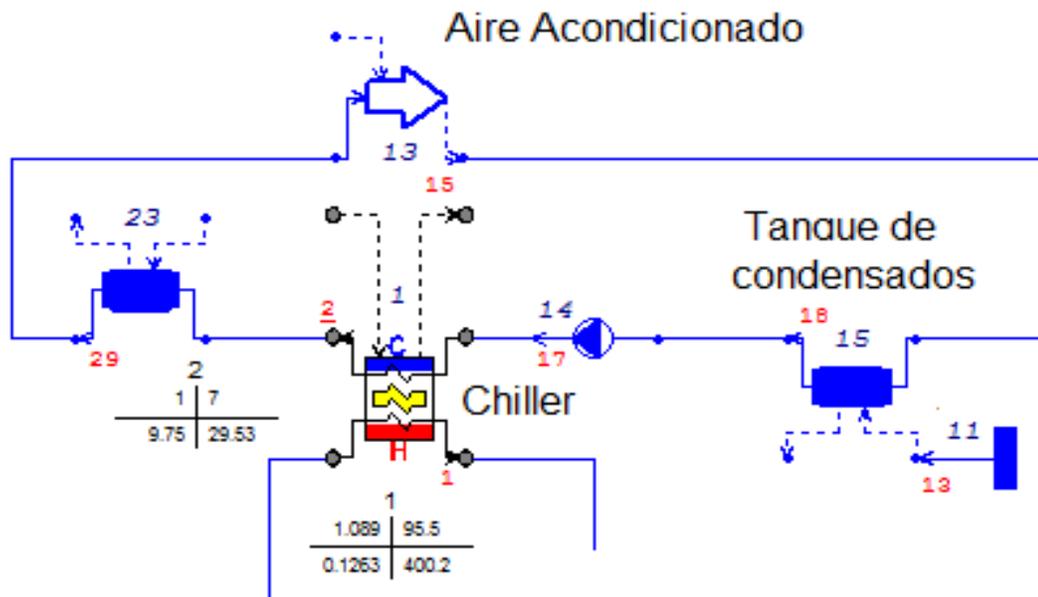
AIRE ACONDICIONADO		ALBERCA		SERVICIO DE AGUA CALIENTE	
VALOR	UNIDAD	VALOR	UNIDAD	VALOR	UNIDAD
1.1	Bar	1.1	Bar	1.1	Bar
102.3	°C	102.3	°C	102.3	°C
.1263	Kg/s	0.16	Kg/s	0.0977	Kg/s
2679.3	kJ/kg	2679.3	kJ/kg	2679.3	kJ/kg

Fuente: Elaboración propia

Aire acondicionado: Del cabezal el flujo de agua se dirige al sistema de aire acondicionado que es el encargado de dar confort a las diversas áreas del hotel, trabaja en conjunto con los siguientes equipos; el enfriador de agua ó chiller es un caso especial de máquina de refrigeración cuyo cometido es enfriar un medio líquido, generalmente agua; en modo bomba de calor también puede servir para calentar ese líquido; también cuenta con otro equipo que es un sistema Fan & Coil,

Estos equipos utilizan el sistema de ventilador y serpentín, lo hay de agua helada y de expansión directa; de la simulación se obtienen los siguientes valores, además se recicla el agua mediante una bomba para volver a ser utilizada:

Figura 3.21 Esquema del sistema de aire acondicionado



Fuente: Programa Thermoflex

De la figura anterior se obtienen los siguientes resultados

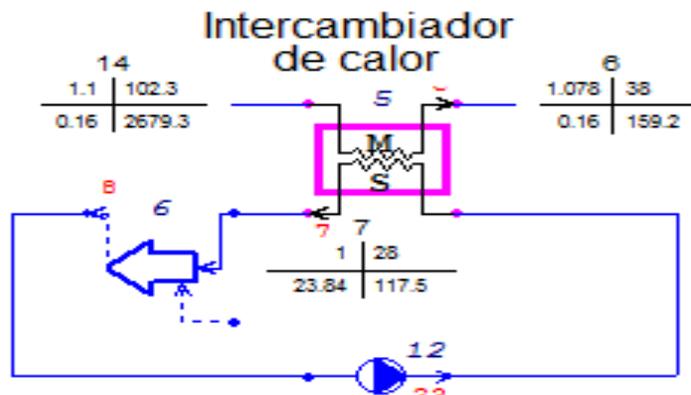
Tabla 3.21 Resultados del proceso

AGUA HELADA		AGUA CALIENTE	
VALOR	UNIDAD	VALOR	UNIDAD
1	Bar	1.089	Bar
7	°C	95.5	°C
9.75	Kg/s	0.1263	Kg/s
29.53	kJ/kg	400.2	kJ/kg

Fuente: Programa Thermoflex

Alberca: Del boiler se genera el flujo de agua que pasa por el cabezal y de hay se distribuye y va a la alberca, la parte recreativa del hotel; este flujo pasa por un intercambiador de calor con los siguientes valores, además se recicla el agua mediante una bomba para volver a ser utilizada.

Figura 3.22 Esquema del sistema de la alberca



Fuente: Programa de Thermoflex

De la figura anterior se obtienen los siguientes resultados

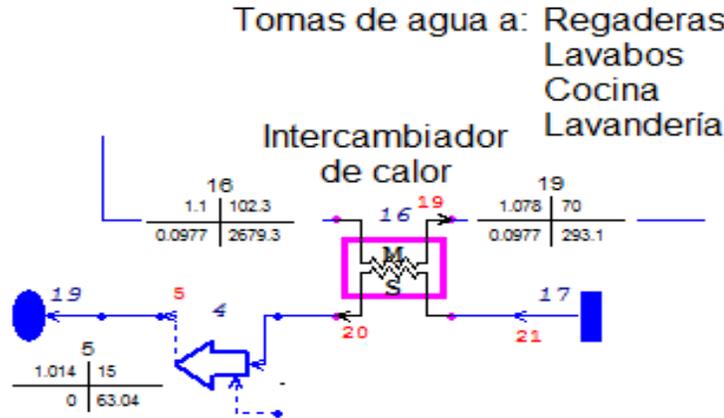
Tabla 3.22 Resultados del proceso

VALOR	UNIDAD
1	Bar
28	°C
23.84	Kg/s
117.5	kJ/kg

Fuente: Elaboración propia

Tomas de agua: Proveniente del cabezal, el flujo de agua se distribuye a través de las regaderas, lavabos, cocina y lavandería que son las secciones de consumo; mediante un intercambiador de calor se obtienen los valores de la simulación; a diferencia del equipo de aire acondicionado y la alberca, en estas tomas de agua el flujo del mismo se pierde a la hora de su uso por lo que se tienen pérdidas.

Figura 3.23 Esquema de distribución a regaderas, cocina, lavabos y lavandería



De la figura anterior se obtienen los siguientes resultados

Tabla 3.23 Resultados del proceso

VALOR	UNIDAD
1.014	Bar
15	°C
0	Kg/s
63.04	kJ/kg

Fuente: Elaboración propia

De lo anterior se puede concluir con la siguiente tabla:

Tabla 3.24 Resultados obtenidos de la simulación en el programa Termoflex

Parámetros		Convencional caldera a biogás Residuos Orgánicos
Altitud	m	1800
Temperatura	°C	28
Generación Bruta	KW	-
Generación Neta	KW	-
Consumo Neto de combustible PCI	KW	1067.1
Eficiencia de CHP	%	-
Consumo de auxiliares	KW	3.93
Consumo de agua	Kg/s	33.59
Vapor a proceso regaderas	KW	346.7
Vapor a proceso aire	KW	287.9
Vapor a proceso alberca	KW	2801.4
Vapor a proceso excedente	KW	-
Vapor total a proceso	KW	3436
Potencia eléctrica demandada	KW	82.9
Potencia térmica demandada	KW	1471
Excedente eléctrico	KW	-82.90
Excedente térmico	KW	1965.00

Fuente. Elaboración propia.

En el Anexo A se muestran las diferentes simulaciones que se realizaron con el programa Thermoflex.

Conclusiones

Con la finalidad de entender las tecnologías de generación, se describieron aquellas con posibilidades de aplicación en el proyecto, para posteriormente hacer el análisis y conocer que tan conveniente resulta una en comparación de otra, esto para la gasificación, metanización o incineración.

Es de suma relevancia saber cuáles son los parámetros de desempeño energético de las tecnologías pero también lo son sus costos de inversión, financiamiento, operación y mantenimiento que se pudieran tener, adicionalmente existen otros factores de toma de decisión como la disponibilidad del equipo, la confiabilidad, la eficiencia, el tipo de instalación que se necesita, los mantenimientos preventivos que se pudieran presentar.

El resultado de la comparación de generación convencional contra la cogeneración, esto permitió utilizar combustible a base de residuos de biomasa mediante una turbina de gas con gasificación, esto con ayuda del programa Thermoflex