



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**COMPARACIÓN DEL DESEMPEÑO  
DE TECNOLOGÍAS DE GENERACIÓN  
ELÉCTRICA, APLICADAS EN UN  
HOTEL DE TEQUISQUIAPAN, EN  
BASE A RESIDUOS DE LA BIOMASA**

**TESIS PROFESIONAL**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO ELÉCTRICO-ELECTRÓNICO  
PRESENTA:**

**JOSÉ ANTONIO ROMERO BUSTOS**

**DIRECTOR DE TESIS:  
DR. GABRIEL LEÓN DE LOS SANTOS**

**CIUDAD UNIVERSITARIA, OCTUBRE 2011.**





Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **AGRADECIMIENTOS:**

### **A mi Madre...**

Eloisa Bustos, por estar conmigo en las buenas y en las malas, por la confianza que siempre me ha tenido, por sus consejos y por darme la fuerza necesaria para poder realizar el trabajo

### **A mi Padre...**

Antonio Romero, por su apoyo en las referencias, su paciencia para estar explicándome los conceptos y su confianza para llevar a buen término la tesis.

### **A mis hermanos...**

Elizabeth Romero, Hugo Romero, Edna Romero y Brandon Romero, por apoyarme en todo el desarrollo de la tesis, con todas sus ocurrencias, sus frases, pero sobre todo por aguantarme.

### **A mi baby...**

Mía Haru, porque me inyectó el ánimo necesario para seguir adelante.

### **Al Profesor...**

Dr. Gabriel León, por ser el guía de este proyecto y toda la paciencia que ha tenido.

### **A la Universidad y Profesores...**

Por ser parte de mi desarrollo académico y darme los conocimientos para poder ejercer la profesión.

## Índice General

<b>Introducción</b>	6
<b>Prólogo</b>	10
<b>Capitulo1</b>	
<b>Fundamentos de los sistemas energéticos</b>	
<b>Introducción</b>	11
<b>1.1 Energía</b>	11
1.1.1 Eficiencia energética, calidad y ahorro de energía	11
1.1.2 Energías renovables	12
1.1.3 Cogeneración	20
1.1.4 Sustentabilidad	28
<b>1.2 Sistema eléctrico de potencia</b>	29
1.2.1 Sistemas de generación	29
1.2.2 Sistemas de transformación	31
1.2.3 Sistemas de transmisión	32
1.2.4 Sistemas de distribución	33
1.2.5 Sistemas de control e instrumentación	35
1.2.6 Equipos y Normas	36
<b>1.3 Instalaciones eléctricas</b>	37
1.3.1 Acometidas	37
1.3.2 Subestaciones	38
1.3.3 Protecciones	40
1.3.4 Sistema de tierras	41
1.3.5 Canalizaciones	41
1.3.6 Derivaciones	42
1.3.7 Cargas	43
1.3.8 Sistemas de iluminación	44
1.3.9 Sistemas de monitoreo y medición	45
1.3.10 Equipos y diagramas DTI .....	47
<b>1.4 Instalaciones térmicas de uso en hoteles</b>	48
1.4.1 Generación de vapor y agua caliente.....	48
1.4.2 Distribución y retorno de condensados.....	49
1.4.3 Instalaciones de aire acondicionado.....	49
1.4.4 Instalaciones de refrigeración	50
1.4.5 Instalaciones de albercas y servicios	51
<b>1.5 Conclusiones del capítulo</b>	52
<b>Capitulo 2</b>	
<b>Caracterización energética de la instalación</b>	
<b>Introducción</b>	53
<b>2.1 Descripción de las instalaciones</b>	53
2.1.1 Geográficas	53
2.1.2 Arquitectónica	54
2.1.3 Servicios	55
2.1.4 Recreación	57
2.1.5 Instalaciones eléctricas	57
2.1.6 Instalaciones térmicas	58
<b>2.2 Caracterización de la demanda energética</b>	59
2.2.1 Carga y consumo eléctrico	59

2.2.2	Demanda y consumo eléctrico	63
2.3	<b>Opciones y potenciales energéticos disponibles en el sitio</b>	72
2.3.1	Biomasa	72
2.3.1.1	Residuos forestales	75
2.3.1.2	Residuos agrícolas	75
2.3.1.3	Residuos orgánicos	76
2.4	<b>Conclusiones del capítulo</b>	79
<b>Capitulo 3</b>		
<b>Evaluación de las tecnologías de generación</b>		
	<b>Introducción</b>	80
3.1	<b>Tecnologías de generación</b>	80
3.1.1	Gasificación	80
3.1.2	Incineración	83
3.1.3	Digestores	84
3.2	<b>Aspectos comerciales y de desempeño</b>	87
3.2.1	Disponibilidad	87
3.2.2	Costos de inversión.	87
3.2.3	Confiabilidad	87
3.2.4	Eficiencia	87
3.2.5	Instalación	87
3.3	<b>Evaluación de niveles de generación convencional y cogeneración</b>	94
3.3.1	Capacidad	95
3.3.2	Generación	95
3.3.3	Consumo de combustible	95
3.3.4	Factor de planta	95
3.4	<b>Conclusiones del capítulo</b>	108
<b>Capitulo 4</b>		
<b>Evaluación de las alternativas de inversión</b>		
	<b>Introducción</b>	109
4.1	<b>Costos de implementación y financiamiento</b>	110
4.1.1	Inversión	110
4.1.2	Combustible	110
4.1.3	Operación y mantenimiento	112
4.1.4	Ingresos y costos del proyecto	112
4.2	<b>Ahorros de la energía eléctrica y térmica</b>	112
4.2.1	Factura eléctrica	113
4.2.2	Factura térmica	113
4.3	<b>Indicadores económicos de viabilidad</b>	113
4.3.1	TIR	113
4.3.2	VPN	114
4.3.3	B/C	115
4.3.4	Periodo de recuperación	115
4.3.5	Análisis económico entre costo convencional vs cogeneración	115
4.3.5	Consideraciones ambientales del proyecto como MDL	132
4.4	<b>Conclusiones del capítulo</b>	135
	<b>Conclusiones generales</b>	136

<b>Anexo A</b>	137
<b>Anexo B</b>	142
<b>Anexo C</b>	147
<b>Índice de figuras</b>	150
<b>Índice de tablas</b>	151
<b>Glosario de términos</b>	153
<b>Símbolos</b>	155
<b>Abreviaturas</b>	156
<b>Bibliografía</b>	157

## Introducción

El medio ambiente es un sistema formado por elementos naturales y artificiales que están interrelacionados y que son modificados por la acción humana; se trata del entorno que condiciona la forma de vida de la sociedad y que incluye valores naturales, sociales y culturales que existen en un lugar y momento determinado.

Los seres vivos, el suelo, el agua, el aire, los objetos físicos fabricados por el hombre componen el medio ambiente; la conservación de este es imprescindible para la vida sostenible de las generaciones actuales y de las venideras.

La noción de calentamiento global permite referirse a dos cuestiones relacionadas; por un lado, se trata de un fenómeno observado en el promedio de la temperatura de las últimas décadas, que sube de manera sostenida; por otra parte, es una teoría que, a partir de distintas proyecciones, sostiene que la temperatura seguirá creciendo en el futuro a causa de la acción del hombre.

Pese a la popularidad que el tema ha cosechado en los últimos años, es importante realizar algunas distinciones; el calentamiento global suele asociarse al cambio climático aunque éste último fenómeno (la variación del clima) siempre ha existido y es natural; de todas formas en la actualidad suele conocerse como cambio climático al producido por la acción humana, que genera variaciones anómalas.

Por otra parte, el calentamiento global está asociado al efecto invernadero, que es un fenómeno por el cual ciertos gases que componen la atmósfera terrestre retienen parte de la energía emitida por el suelo tras haber sido calentado por la radiación del Sol.

El efecto invernadero funciona de la siguiente manera: la radiación solar atraviesa la atmósfera, rebota contra el suelo y debería volver a atravesar la atmósfera sin embargo, los gases de efecto invernadero (como el dióxido de carbono y el metano) producen una capa de contaminación que impide que los rayos solares vuelvan a salir, produciendo un aumento de la temperatura en la Tierra.

En referencia a la sustentabilidad, el concepto suele utilizarse como sinónimo de sostenible en el ámbito de la ecología; un proceso sustentable o sostenible es aquel que se puede mantener en el tiempo por sí mismo, sin ayuda exterior y sin que se produzca la escasez de los recursos existentes.

El desarrollo sustentable, por lo tanto, permite satisfacer las necesidades actuales sin comprometer las posibilidades de las generaciones futuras; para lograr el desarrollo sustentable, los recursos renovables no deben utilizarse a un ritmo superior al de su generación, mientras que los recursos no renovables deben usarse con moderación hasta que puedan ser reemplazados por recursos renovables.

Cuando en 1973 se produjeron eventos importantes en el mercado del petróleo en el mundo, que se manifestaron en los años posteriores en un encarecimiento notable de esta fuente de energía no renovable, resurgieron las preocupaciones sobre el suministro y precio futuro de la energía; resultado de esto, los países consumidores, enfrentados a los altos costos del petróleo y a una dependencia casi total de este energético, tuvieron que modificar costumbres y buscar opciones para reducir su dependencia de fuentes no renovables.

Entre las opciones para reducir la dependencia del petróleo como principal energético, se reconsideró el mejor aprovechamiento de la energía solar y sus diversas manifestaciones secundarias tales como la energía eólica, hidráulica y las diversas formas de biomasa; es decir las llamadas energías renovables.

El impulso dado en el desarrollo de la tecnología asociada al aprovechamiento de las energías renovables a partir de la década de los sesenta, ha permitido que diversas tecnologías en fase experimental se conviertan en un producto capaz de competir en el mercado y ganar terreno en otras alternativas que operen con combustibles fósiles; algunas tecnologías que se han estado implementado alrededor del mundo son:

Los calentadores solares planos son una de las tecnologías solares más simples; hoy en día ha tenido un fuerte crecimiento en Europa, teniendo una tasa de crecimiento anual del 14.8%, Alemania, Grecia y Austria son los países más representativos.

Los sistemas de concentración de radiación solar, funcionan con sistemas que concentran la energía solar en una línea, es actualmente una de las aplicaciones más extensas de la energía solar en el mundo, con 354 MW instalados en sistemas que utilizan 2.5 millones de m<sup>2</sup> de concentradores solares (9 plantas del Solar Energy Generation System, SEGS en Israel).

La tecnología relacionada con la generación de electricidad por procesos fotovoltaicos ha tenido grandes avances; su costo unitario de potencia se ha reducido 20 veces a largo de este tiempo; esto ha permitido que el uso de esta tecnología se haya generalizado y que se tengan expectativas de mayores reducciones en su precio; en la Comunidad Europea excedió los 150 MW instalados; actualmente Japón es el líder productor de celdas fotovoltaicas.

Desde la aparición de las “granjas eólicas” en el estado de California, Estados Unidos, las expectativas se incrementaron desarrollándose una ola de aplicaciones mediante este tipo de tecnología; actualmente existen proyectos implementados por toda la Unión Americana; todo indica que EU incrementará su capacidad eólica en un 50 % (actualmente se tienen cerca de 3000 MW instalados) y a escala mundial se tienen 18,500 MW instalados y se pretende un crecimiento de un 38 %.

Con respecto a las hidroeléctricas, a la fecha existen cerca de 35,500 MW de potencia global instalada en pequeñas centrales alrededor del mundo; en la actualidad se espera contar con 38,700 MW; China cuenta con la mayor capacidad instalada del mundo con alrededor de 14,300 MW, lo cual representa alrededor del 43 % del total, le siguen Japón y Estados Unidos con 3,381 y 3,019 MW instalados respectivamente; de los países latinoamericanos Brasil se encuentra a la cabeza con 950 MW.

Con un estimado de 14,000 MW de capacidad instalada alrededor del mundo, la biomasa es la mayor fuente de potencia para generación de energía eléctrica con energías renovables, después de la hidroeléctrica; Estados Unidos es el más grande generador de potencia con biomasa con 7,000 MW instalados; las expectativas de crecimiento de la generación con biomasa alrededor del mundo son de más de 30,000 MW para el año 2020; China y la India son considerados candidatos para instalar sistemas con biomasa de manera masiva; otros países que muestran un promisorio crecimiento por la variedad de sus sistemas de biomasa son Brasil, Malasia, Filipinas, Indonesia, Australia, Canadá, Inglaterra, Alemania Y Francia.

Como autoabastecimiento se entiende a la utilización de energía eléctrica para la satisfacción de las necesidades propias del permisionario o del conjunto de copropietarios o socios.

La cogeneración es una tecnología puntera que produce electricidad y agua caliente para calefacción al mismo tiempo en plantas que queman gas natural; la cogeneración resulta en un uso más eficiente de los recursos de manera que se reducen las emisiones de CO<sub>2</sub> de forma significativa. Por ello la electricidad generada por las plantas de cogeneración que utilizan gas natural como combustible puede ser incluida hasta un máximo del 50 % en productos de electricidad verde; se considera como una solución intermedia para reducir las emisiones.

Se emplea el término biomasa para denominar a una fuente de energía renovable, que se basa principalmente en la utilización de materia orgánica vegetal de origen diverso como maderas de árboles de crecimiento rápido, desechos de la industria maderera, cosechas azucareras, cosechas almidonadas, cosechas aceiteras, desechos agrícolas; así mismo también se emplean desechos municipales y de la industria alimenticia, que en ocasiones pueden incluir desechos de origen animal, y se entiende por bioenergía a la energía que se obtiene a partir de la biomasa.

Su disponibilidad varía de región a región, de acuerdo con el clima, el tipo de suelo, la geografía, la densidad de la población, las actividades productivas, etc.; por eso, los correspondientes aspectos de infraestructura, manejo y recolección de material deben adaptarse a las condiciones específicas del proceso en el que se deseen explotar.

De lo anterior se plantea en este estudio analizar las posibilidades de mejora, así como sus ventajas que se puedan obtener al autoabastecer con biomasa en esquema de cogeneración un hotel propuesto, a pesar de que existen sistemas de autoabastecimiento, es necesario buscar opciones rentables, tal es el caso en el abastecimiento de combustibles, actualmente no son redituables, son relativamente caros para su consumo.

La alternativa que se plantea es utilizar el combustible generado a partir de la biomasa; este insumo es atractivo para el inversionista por ser barato y disminuye los gases que crean el efecto invernadero, también con el manejo de la energía solar se intenta disminuir la capacidad de generación del sistema de autoabastecimiento y ser una opción eficiente.

Se espera obtener una propuesta de sistema energético que pueda procesar y aprovechar los recursos renovables disponibles en el sitio, y con ello cubrir los requerimientos energéticos del hotel, sustentando la propuesta con criterios de evaluación de proyectos.

Comparando la forma convencional de proveer los insumos energéticos con la nueva propuesta, se obtendrán los datos para conocer el nivel de viabilidad de la propuesta de autoabastecimiento y con ello dar a los inversionistas nuevas expectativas para posibles aplicación futuras en instalaciones similares.

#### *Objetivo del tema*

Realizar una evaluación de viabilidad para generar los requerimientos energéticos en un hotel, ubicado en el municipio de Tequisquiapan, estado de Querétaro; incorporando en el análisis de la propuesta los criterios de eficiencia energética y uso de energía renovable, contemplando los residuos de la biomasa generados cerca del lugar; estableciendo los indicadores técnicos, económicos y ambientales que permiten identificar los niveles y ventajas de las diferentes tecnologías con potencial de procesar las fuentes energéticas.

Como parte del desarrollo de la tesis, se contempla abordar los siguientes puntos:

- Hacer una revisión de los conceptos tecnológicos, aspectos de diseño y operación de las instalaciones eléctricas de potencia, enfatizando en los sistemas que integran la generación, suministro y consumo de energía eléctrica, así como en los procesos y uso eficiente de la energía en las instalaciones de los complejos hoteleros, como sustento de los análisis de la selección de tecnologías, optimizar el uso de la energía y alternativas energéticas.
- Describir las instalaciones a las cuales se deberá de dar el servicio energético, caracterizando la demanda y consumos energéticos, así como las opciones y potenciales energéticos disponibles en el sitio.
- Evaluar los niveles de generación de las tecnologías propuestas para aprovechar la energía de la biomasa, identificando energéticamente la opción más viable para generar los requerimientos energéticos, y seleccionar la tecnología que ofrezca los mejores parámetros técnicos de desempeño para hacer el análisis económico de su implementación.
- Evaluar la alternativa tecnológica de inversión seleccionada versus la forma convencional, entre alguna de ellas, vía los costos de inversión, operación y mantenimiento, y ahorros generados por la operación del sistema, identificando los niveles de viabilidad económica y consideraciones de los beneficios medioambientales.

## Prólogo

La finalidad del presente escrito es dar a conocer la viabilidad de un proyecto, este proyecto en particular es referente a la generación de energía eléctrica y térmica para un hotel mediante el uso de materiales orgánicos (biomasa), que para muchos pueden ser desperdicio.

Lo anterior viene desglosado de la siguiente manera:

En el capítulo uno, se plantean conceptos que van de la mano con los temas de actualidad como son el ahorro de energía (energías renovables y cogeneración), así como la sustentabilidad del medio ambiente; también se da un panorama general de los diferentes sistemas eléctricos de potencia con los que se cuentan en la actualidad, así como las normas con las cual se rigen para su construcción y lo que se requiere en las instalaciones eléctricas (acometidas, sistema de tierras, etc.) ; para finalizar con los requerimientos térmicos que se deben ubicar dentro de un hotel para brindar un buen servicio.

En el capítulo dos, se enfoca en el interior del hotel, ubicación, descripción general del inmueble, algunos aspectos arquitectónicos; se realizan los cálculos para saber la capacidad de las instalaciones eléctricas y las instalaciones térmicas, y de esa manera saber la capacidad de los equipos; además se mencionan las opciones que se tienen de residuos forestales, agrícolas y orgánicos que se puedan ubicar cerca del hotel.

En el capítulo tres, se da una perspectiva general de las tecnologías de generación como son gasificación, incineración o digestión para que se puedan utilizar para el proyecto, también se describen aspectos comerciales de algunos equipos, como son las turbinas de vapor, motores de combustión interna y calderas; también se obtuvieron simulaciones con el programa Thermoflex con las diferentes alternativas que se plantearon, y así tener una visión de cual alternativa de generación es más factible para aprovechar al máximo la capacidad.

En el capítulo cuatro, se plantea lo concerniente a los costos de inversión que se realizan para llevar a cabo el proyecto, estos pueden ser compra de equipos, combustibles y costos de operación y mantenimiento, etc.; se visualiza el concepto de la factura eléctrica y la factura térmica para saber el ahorro que se pudiera tener con la venta de excedentes al sistema eléctrico; además se muestran indicadores económicos de viabilidad (tasa de rendimiento, beneficio-costos, periodo de recuperación), que de acuerdo a la tasa de interés y el apalancamiento con el banco varían considerablemente los intereses a pagar.

Se cuenta también con tres anexos; en el anexo A se tienen las simulaciones, con el programa Thermoflex, de todas las alternativas que se plantearon, en el anexo B se tiene el desarrollo completo de la evaluación económica del proyecto y en el anexo C se tienen los planos de las instalaciones eléctricas y térmicas del hotel.

## **Capítulo 1**

### **Fundamentos de los sistemas energéticos**

#### **Introducción**

La modernidad en la ingeniería es enorme, basta con saber que la innovación tecnológica en estos tiempos se expresa por ejemplo con el uso de software para obtener una precisión exacta en los cálculos y de esa manera el porcentaje de error disminuye considerablemente.

En otra área de la ingeniería como lo son los sistemas energéticos, el desarrollo también es sorprendente, y a la vez cuestionado, dado la gran afectación que se hace al medio ambiente por el uso de energéticos, por esta razón el desarrollo ingenieril en este área, debe buscar desarrollar y ofrecer alternativas al uso de energéticos o formas de remediar las afectaciones medio ambientales, en este campo el desarrollo y evaluación de sistemas energéticos que hacen uso de fuentes renovables de energía son muy relevantes, por lo tanto, estudios y propuestas que permitan visualizar estas mejoras son siempre bienvenidas.

Este capítulo presenta un panorama de los diferentes aspectos que intervendrán en la formulación y desarrollo de la propuesta de un sistema energético avanzado para dar suministro a los requerimientos energéticos que requiere un hotel para ofrecer los servicios que requieren sus huéspedes en el ámbito eléctrico y térmico. La estructura del capítulo muestra aspectos sobre eficiencia energética, calidad y ahorro de energía, energías renovables, cogeneración, sustentabilidad, así como una visión general de los sistemas eléctricos de potencia e Instalaciones eléctricas.

#### **1.1 Energía**

##### **1.1.1 Eficiencia energética, calidad y ahorro de energía.**

Los países desarrollados tienen una larga experiencia en la formulación de programas y en la implementación de acciones con tendencia a mejorar la eficiencia energética; las preocupaciones por este tema se originaron principalmente como consecuencia de las crisis petroleras de los años setenta; se renovaron en la última década del siglo XX, por las presiones crecientes para reducir el impacto ambiental, particularmente en lo que se refiere a las emisiones de gases efecto invernadero; y más recientemente se intensificaron debido al aumento de los precios del petróleo y a la limitada posibilidad de recursos energéticos no renovables.

De acuerdo a información suministrada por la OLADE (Organización Latinoamericana de Energía), la eficiencia energética (EE) es el conjunto de acciones que permiten optimizar la relación entre la cantidad de energía consumida y los productos y servicios finales obtenidos<sup>1</sup>, esto se puede lograr a través de la implementación de diversas medidas e inversiones a nivel tecnológico, de gestión y de hábitos culturales en la comunidad.

La eficiencia energética debe ser considerada como el recurso más importante del que dispone un país para asegurar su abastecimiento energético; entre los beneficios que aportan se destaca:

---

<sup>1</sup> Artículo de eficiencia energética, 2009, consultado el 12 de octubre de 2010.

- Reducción de la vulnerabilidad del país por dependencia de fuentes energéticas externas.
- Reducción de costos de abastecimientos energéticos para la economía en su conjunto.

Alivio de las presiones sobre los recursos naturales y los asentamientos humanos al reducirse la tasa de crecimiento de la demanda por energéticos así como las presiones globales tales como las emisiones de CO<sub>2</sub>, que contribuyen al calentamiento global; beneficios para las familias de bajos recursos, porque gastan un porcentaje mayor de su ingreso en energía.

En la región, América Latina y el Caribe han logrado disminuir la intensidad energética en 0.2% anual, esta escasa disminución es atribuida a la falta de programas de eficiencia a largo plazo y poca incorporación de tecnologías eficientes por modernización de electrodomésticos y vehículos; de acuerdo a estudios efectuados por la OLADE, en el periodo 2003-2018, la región podría acumular un ahorro de 156 mil millones de dólares en combustibles si emprendiera programas nacionales sólidos y de largo plazo en eficiencia energética<sup>2</sup>.

También se han dado pasos importantes en el marco de las reformas energéticas orientadas a garantizar un abastecimiento energético eficiente, confiable y oportuno, de buena calidad y a precios razonables, tomándose más recientemente medidas orientadas al uso eficiente de la energía; en México se tienen organismos relacionados para el ahorro de la energía siendo estos los siguientes:

Comisión Nacional para el uso Eficiente de la Energía (CONUEE): Este organismo comenzó sus actividades en el año de 1989, y promueve el uso eficiente de la energía desde su producción (generación eléctrica, refinación, transporte de combustibles) hasta su uso final (procesos industriales, transporte, consumo final de electricidad, etc.).

Fideicomiso para el ahorro de energía (FIDE): Es una institución de carácter privado que tiene como objetivo; promover e inducir, con acciones claras y concretas, el ahorro de energía eléctrica en los usuarios. El FIDE, en su calidad de fideicomiso, concede financiamiento para implementación de proyectos de ahorro de electricidad, otorga asistencia técnica para desarrollo de iniciativas y brinda capacitación sobre temas de ahorro de energía; certifica la eficiencia eléctrica en aparatos eléctricos y dispone de material educativo sobre el ahorro de energía eléctrica.

### **1.1.2 Energías renovables**

Nuestra sociedad depende de la energía; durante muchos siglos las principales fuentes de energía han sido la fuerza de los animales y la de los hombres y el calor obtenido al quemar la madera; el ingenio humano también había desarrollado algunas máquinas con las que aprovechaba la fuerza hidráulica para moler los cereales o preparar el hierro en las herrerías, o la fuerza del viento en los barcos de vela o los molinos de viento.

Con la máquina de vapor se inicia la era industrial, y desde entonces, el gran desarrollo de la industria y la tecnología han cambiado, drásticamente, las fuentes de energía que mueven la moderna sociedad.

---

<sup>2</sup> Artículo de eficiencia energética, 2009, consultado el 12 de octubre del 2010.

En las últimas décadas, el desarrollo de un país ha estado ligado a su consumo de energía de combustibles fósiles como el petróleo, carbón y gas natural, en estos primeros años del siglo XXI, importantes desafíos de tipo ambiental, económico y social ligados a las fuentes de energía están obligando a replantearse en profundidad toda la política energética.

### *Combustibles fósiles*

Los combustibles fósiles son el carbón, el petróleo y el gas, han sido los grandes protagonistas del impulso industrial desde la invención de la máquina de vapor hasta nuestros días, entre los tres suponen casi el 90% de la energía comercial empleada en el mundo.

Un combustible fósil está compuesto por los restos de organismos que vivieron hace millones de años, el carbón se formó a partir de plantas terrestres, el petróleo y el gas natural a partir de microorganismos y animales principalmente acuáticos; son, en definitiva, una acumulación de energía solar, porque las plantas convierten la radiación que viene del Sol en biomasa, gracias a la fotosíntesis, y los animales que se alimentan de las plantas.

Son fuentes de energía que llamamos no renovables, esto significa que cantidades que han tardado en formarse miles de años se consumen en poco tiempo y las reservas de estos combustibles van disminuyendo a un ritmo creciente; además, estamos agotando un recurso del que se pueden obtener productos muy valiosos, como plásticos, medicinas, etc., simplemente para quemarlo y obtener energía.

Energías renovables: Las fuentes de energías renovables o alternativas no consumen un recurso finito y además, en general, causan menos impactos ambientales negativos.

Entre estas energías se tienen:

- Energía hidroeléctrica
- Energía solar
- Energía de la biomasa
- Energía obtenida de los océanos
- Energía geotermal

### *Energía hidroeléctrica*

El aprovechamiento de la energía potencial acumulada en el agua para generar electricidad es una forma clásica de obtener energía. Alrededor del 20% de la electricidad usada en el mundo procede de esta fuente; es, por tanto, una energía renovable pero no alternativa, estrictamente hablando, porque se viene usando desde hace muchos años como una de las fuentes principales de electricidad.

La energía hidroeléctrica que se puede obtener en una zona depende de los cauces de agua y desniveles que tenga, y existe, una cantidad máxima de energía que podemos obtener por este procedimiento; se calcula que si se explotara toda la energía hidroeléctrica que el mundo entero puede dar, sólo se cubriría el 15% de la energía total que consumimos; desde el punto de vista ambiental la energía hidroeléctrica es una de las más limpias.

**Figura 1.1: Central hidroeléctrica**

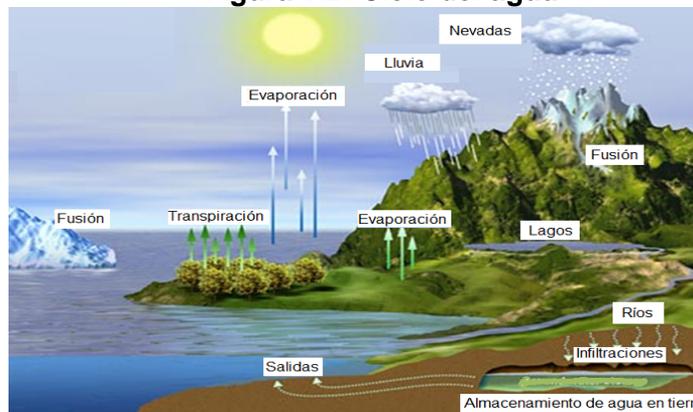


Fuente: [www.radiowebrural.com](http://www.radiowebrural.com)

### Energía solar

La energía que procede del sol es fuente directa o indirecta de casi toda la energía que usamos; los combustibles fósiles existen gracias a la fotosíntesis que convirtió la radiación solar en las plantas y animales de las que se formaron el carbón, gas y petróleo.

**Figura 1.2: Ciclo del agua**



Fuente: [www.aldeaeducativa.com](http://www.aldeaeducativa.com)

El ciclo del agua que nos permite obtener energía hidroeléctrica es movido por la energía solar que evapora el agua, forma nubes y las lleva tierra adentro donde caerá en forma de lluvia o nieve, el viento también se forma cuando unas zonas de la atmósfera son calentadas por el Sol en mayor medida que otras.

El aprovechamiento directo de la energía del sol se hace de diferentes formas:

- *Calentamiento directo de locales por el sol:* En invernaderos, viviendas y otros locales, se aprovecha el Sol para calentar el ambiente; algunos diseños arquitectónicos buscan aprovechar al máximo este efecto y controlarlo para poder restringir el uso de calefacción o de aire acondicionado.
- *Acumulación local del calor solar:* Se hace con paneles o estructuras especiales colocadas en lugares expuestos al sol, como los tejados de las viviendas, en los que se calienta algún fluido que se almacena el calor en depósitos. En un país desarrollado más del 5% de la energía consumida se usa para calentar agua.

- **Generación de electricidad:** Se puede generar electricidad a partir de la energía solar por varios procedimientos, en el sistema termal la energía solar se usa para convertir agua en vapor en dispositivos especiales; en algunos casos se usan espejos cóncavos que concentran el calor sobre tubos que contienen aceite; el aceite alcanza temperaturas de varios cientos de grados y con él se calienta agua hasta ebullición.

Con el vapor se genera electricidad en turbinas clásicas, con algunos dispositivos de estos se consiguen rendimientos de conversión en energía eléctrica del orden del 20% de la energía calorífica que llega a los colectores.

La luz del Sol se puede convertir directamente en electricidad usando el efecto fotoeléctrico, las células fotovoltaicas no tienen rendimientos muy altos, la eficiencia media en la actualidad es de un 10 a un 15%, aunque algunos prototipos experimentales logran eficiencias de hasta el 30%, por esto se necesitan grandes extensiones si se quiere producir energía en grandes cantidades.

**Figura 1.3: Energía solar**



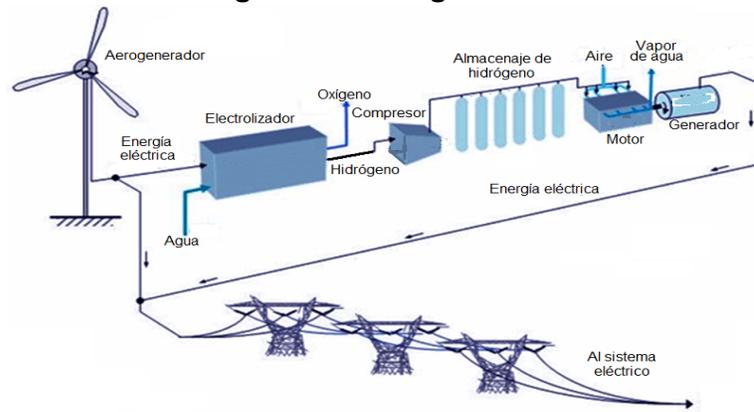
**Fuente: [www.chilorenovable.cl](http://www.chilorenovable.cl)**

Uno de los problemas de la electricidad generada con el Sol es que sólo se puede producir durante el día y es difícil y cara para almacenar, para intentar solucionar este problema se investigan diferentes tecnologías, una de ellas usa la electricidad para disociar el agua, por electrólisis, en oxígeno e hidrógeno, después el hidrógeno se usa como combustible para regenerar agua, produciendo energía por la noche.

### *Energía eólica*

Los molinos de viento se han usado desde hace muchos siglos para moler el grano, bombear agua u otras tareas que requieren energía, en la actualidad, sofisticados molinos de viento se usan para generar electricidad, especialmente en áreas expuestas a vientos frecuentes, como zonas costeras, alturas montañosas o islas.

**Figura 1.4: Energía eólica**



**Fuente: [www.spanish.martinvarsavsky.net](http://www.spanish.martinvarsavsky.net)**

El impacto ambiental de este sistema de obtención de energía es bajo, es sobre todo estético, porque deforman el paisaje, aunque también hay que considerar la muerte de aves por choque con las aspas de los molinos.

### *Energía de biomasa*

Se define como bioenergía a la energía que se obtiene de materia de origen biológico; la biomasa es el material orgánico de origen biológico que más ha sido utilizado como combustible a lo largo de toda la historia de la humanidad; la biomasa es el material orgánico que producen las plantas al sintetizar luz, agua y CO<sub>2</sub>.

Mediante el proceso de fotosíntesis, en el que la energía solar queda almacenada en enlaces químicos, que a su vez puede ser liberada mediante procesos como la combustión, la digestión, la descomposición o bien mediante hidrólisis y fermentación de combustibles líquidos o gaseosos<sup>3</sup>.

Los materiales orgánicos de tipo biológico proporcionan según su origen y procesamiento, energía técnicamente útil y factible de aprovechar desde el punto de vista económico en las tres formas físicas a saber, sólido, líquido y gaseoso, lo cual le confiere a la bioenergía las características de un recurso energético universal, limpio y de gran alcance si se aprovecha su capacidad de regeneración y si se explota con criterios de sustentabilidad; debido a estas características la bioenergía puede contribuir de manera importante a sustituir las fuentes de energía fósil y nuclear<sup>4</sup>.

La biomasa es la masa total de la materia viva de una parte de un organismo, población o ecosistema y tiende a mantenerse más o menos constante; por lo general, se da en términos de materia seca por unidad de área (por ejemplo kg/ha o g/m<sup>2</sup>).; en términos energéticos, se utiliza como energía renovable, como es el caso de la leña, del biodiesel, del bio-alcohol, del biogás y del bloque sólido combustible; la biomasa podría proporcionar energías sustitutivas, gracias a bio-carburante tanto líquido como sólidos, como el biodiesel o el bio-etanol; la biomasa puede producir o se puede obtener a partir de subproductos o residuos; un ejemplo de la biomasa es:

<sup>3</sup> Bioenergía, Ideas CONCYTEG, 2009, consultado el 24 de octubre de 2010.

<sup>4</sup> Bioenergía, Ideas CONCYTEG, 2009, consultado el 24 de octubre de 2010.

- Biomasa cultivada o agrícola: Paja, árboles, maíz, etc.
- Biomasa a partir de residuos: Restos de carpintería, aserrín, residuos orgánicos (comida, poda de árboles, etc.)
- Residuos ganaderos: excremento de ganado.

#### *Ventajas:*

- Permite eliminar residuos orgánicos e inorgánicos, al tiempo que les da utilidad.
- Es una fuente de energía renovable.
- Es una fuente de energía no contaminante.

#### *Aprovechamiento*

La forma de aprovechar la biomasa como energético puede ser a través de la combustión directa, como tradicionalmente se ha aprovechado en México, la leña y el bagazo de caña, o bien mediante la conversión de la biomasa en diferentes hidrocarburos a través de diferentes tipos de procesos.

La combustión directa que se conoce, es el proceso por el que se aprovecha el poder calorífico de la biomasa; en México, se siguen los métodos tradicionales para producir carbón, no son volúmenes altos, son específicos y el dato que se conoce es de alrededor de 70,000 toneladas anuales; la pirolisis además del carbón puede dar lugar a líquidos como el alquitrán que es un combustible con cierto poder calorífico alto de unas 9,000 O 10,000 kcal por litro y también da lugar a la producción de monóxido de carbono que es un gas que puede emplearse como combustible.

Por otro lado se tienen procesos biológicos tradicionales, la producción del alcohol a partir de productos celulosos que por ejemplo nosotros conocemos tradicionalmente, la producción del alcohol a través de la fermentación de caña; cuando el azúcar está disponible para otros fines, alimenticios entre ellos, se puede pensar en residuos, en celulosa, darle un tratamiento con ácido clorhídrico, con alta temperatura, gasificarlos, llegar a la glucosa, fermentarlos y producir alcohol.

No existen en México datos precisos, salvo las estadísticas que presenta anualmente el balance nacional de energía, en el que se consignan las cantidades consumidas de leña y bagazo de caña, se estima que el consumo anual de los particulares es de 87,220 (TJ) de bagazo de caña y 247,000 (TJ) de leña, dando una cifra global de 335,220 (TJ)<sup>5</sup>.

La biomasa puede ser usada directamente como combustible, alrededor de la mitad de la población mundial sigue dependiendo de la biomasa como fuente principal de energía, el problema es que en muchos lugares se está quemando la madera y destruyendo los bosques, por lo que se están causando graves daños ambientales: deforestación, pérdida de biodiversidad, desertificación, degradación de las fuentes de agua, etc. Unas estadísticas se encuentran en la tabla 1.1 Potencial de biomasa en México.

---

<sup>5</sup> Bioenergía, Ideas CONCYTEG, 2009, consultado el 24 de octubre de 2010.

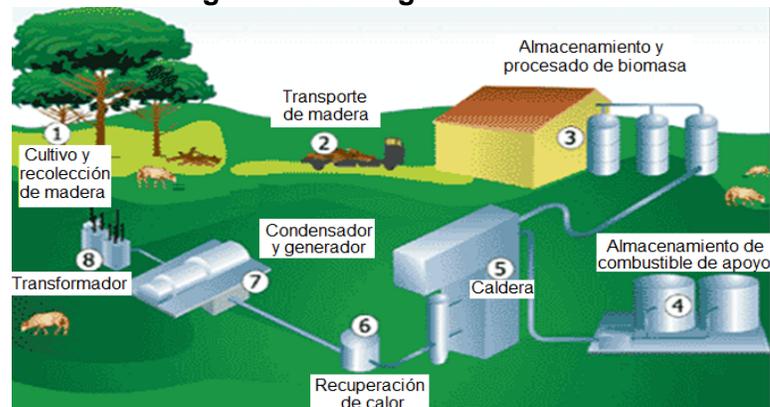
**Tabla 1.1 Potencial de biomasa en México**

ESTADO	BIOMASA	ESTADO	BIOMASA
Aguascalientes	Muy bueno	Morelos	Muy bueno
Baja California norte	Pobre	Nayarit	pobre
Baja California sur	Pobre	Nuevo león	Muy bueno
Campeche	Pobre	Oaxaca	Pobre
Chiapas	Bueno	Puebla	Pobre
Chihuahua	Muy bueno	Querétaro	Pobre
Coahuila	Muy bueno	Quintana roo	Muy bueno
Colima	Pobre	San Luis Potosí	Bueno
Distrito Federal	Muy bueno	Sinaloa	Pobre
Durango	Muy bueno	Sonora	Pobre
Edo. de Méx.	Muy bueno	Tabasco	Pobre
Hidalgo	Muy bueno	Tamaulipas	Muy bueno
Guanajuato	Pobre	Tlaxcala	Pobre
Guerrero	Pobre	Veracruz	Muy bueno
Jalisco	Muy bueno	Yucatán	Pobre
Michoacán	Muy bueno	Zacatecas	Pobre

Fuente: [www.conuee.gob.mx](http://www.conuee.gob.mx)

También se puede usar la biomasa para preparar combustibles líquidos, como el metanol o el etanol, que luego se usan en los motores, el principal problema de este proceso es que su rendimiento es bajo: de un 30 a un 40% de la energía contenida en el material de origen se pierde en la preparación del alcohol.

**Figura 1.5: Energía de biomasa**



Fuente: [www.quimicaweb.net](http://www.quimicaweb.net)

Otra posibilidad es usar la biomasa para obtener biogás, esto se hace en depósitos en los que se van acumulando restos orgánicos, residuos de cosechas y otros materiales que pueden descomponerse, en un depósito al que se llama digestor, en ese depósito estos restos fermentan por la acción de los microorganismos y la mezcla de gases producidos se pueden almacenar o transportar para ser usados como combustible.

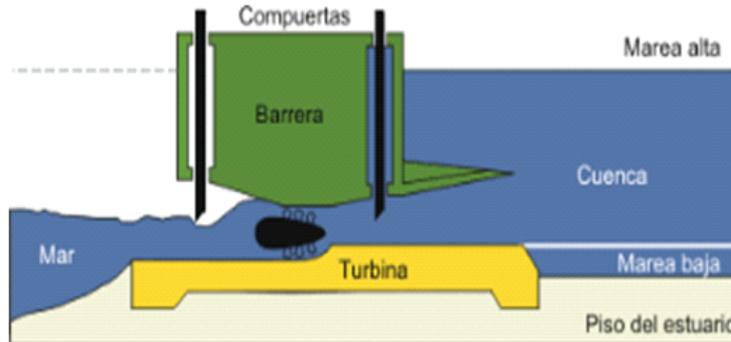
El uso de biomasa como combustible presenta la ventaja de que los gases producidos en la combustión tienen mucho menor proporción de compuestos de azufre, causantes de la lluvia ácida, que los procedentes de la combustión del carbono; al ser quemados añaden CO<sub>2</sub> al ambiente, pero este efecto se puede contrarrestar con la siembra de nuevos bosques o plantas que retiran este gas de la atmósfera.

## Energía de los océanos

De los océanos se puede obtener energía por varios procedimientos, así se tiene:

**Mareas:** Para aprovechar las mareas y se construyen presas que cierran una bahía para retener el agua a un lado u otro, dejándola salir en las horas inter-mareales; en China, Canadá, Francia y Rusia hay sistemas de este tipo en funcionamiento.

**Figura 1.6: Energía mareomotriz**



Fuente: [www.biodisol.com](http://www.biodisol.com)

Nunca podrá ser una importante fuente de energía a nivel general porque pocas localidades reúnen los requisitos para construir un sistema de este tipo; por otra parte la construcción de la presa es cara y alterar el ritmo de las mareas puede suponer impactos ambientales negativos en algunos de los más ricos e importantes ecosistemas como son los estuarios y las marismas.

**Figura 1.7: Equipo instalado en el mar**



Fuente: [www.sustentator.com](http://www.sustentator.com)

**Olas:** Se han desarrollado diversas tecnologías experimentales para convertir la energía de las olas en electricidad, aunque todavía no se ha logrado un sistema que sea económicamente rentable.

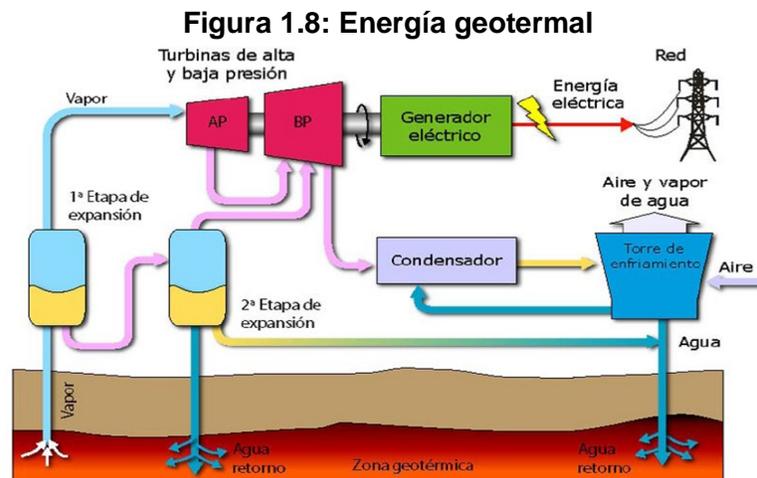
La temperatura del agua es más fría en el fondo que en la superficie, con diferencias que llegan a ser de más de 20°C; en algunos proyectos y estaciones experimentales se usa agua caliente de la superficie para poner amoníaco en ebullición y se bombea agua fría para refrigerar este amoníaco y devolverlo al estado líquido, en este ciclo el amoníaco pasa por una turbina generando electricidad.

Este sistema se encuentra muy poco desarrollado, aunque se ha demostrado que se produce más electricidad que la que se consume en el bombeo del agua fría desde el fondo.

### *Energía geotermal*

La temperatura de la Tierra aumenta con la profundidad y se puede usar esa energía con las tecnologías apropiadas, algunos países como Islandia o Nueva Zelanda utilizan muy eficazmente esta fuente de energía. Son países situados en zonas en las que a poca profundidad hay temperaturas muy altas y una parte importante de sus necesidades energéticas las obtienen de esta fuente, otros países están aumentando el uso de esta fuente de energía, aunque la producción mundial sigue siendo muy pequeña.

Desde el punto de vista ambiental la energía geotermal tiene varios problemas, por una parte el agua caliente extraída del subsuelo es liberada en la superficie contaminando térmicamente los ecosistemas, al aumentar su temperatura natural; además el agua extraída asciende con sales y otros elementos disueltos que contaminan la atmósfera y las aguas si no es purificada.



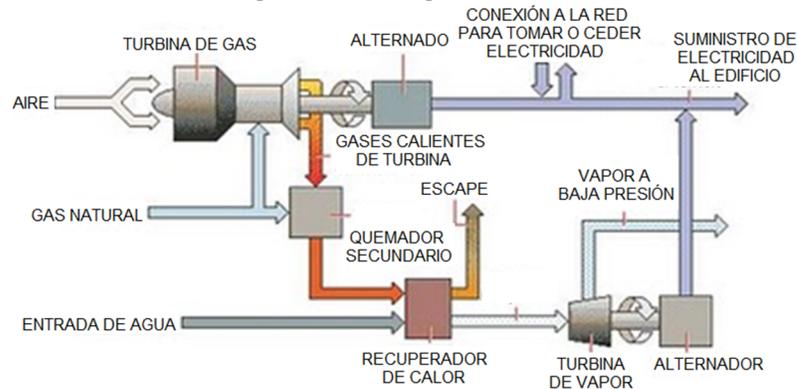
Fuente: [www.elheraldociudadano.com.mx](http://www.elheraldociudadano.com.mx)

### **1.1.3 Cogeneración.**

La cogeneración se define como la producción secuencial de energía eléctrica y/o mecánica y de energía 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 orientados a lograr un desarrollo sustentable.

En una planta de generación termoeléctrica se quema normalmente un combustible fósil para producir vapor a alta temperatura y presión, el cual se hace pasar por una turbina para generar energía eléctrica; en este proceso aún en las plantas más eficientes se logra la conversión a electricidad en menos del 40 % de la energía disponible como calor en el combustible, el resto se descarga a la atmósfera mediante los gases producto de la combustión que salen por la chimenea del generador de vapor y en los sistemas de condensación y enfriamiento del ciclo termodinámico.

**Figura 1.9: Cogeneración**

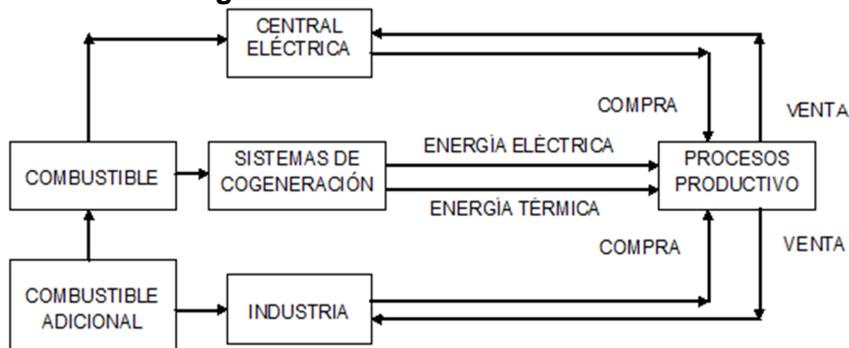


Fuente: [www.afinidadelectrica.com.ar](http://www.afinidadelectrica.com.ar)

Aunque la cantidad de calor que se desecha a la atmósfera es muy grande, es de baja temperatura relativa, en otras palabras de baja capacidad para realizar un trabajo útil dentro de una planta de generación eléctrica.

Como en la Figura 1.10 en la mayoría de los procesos industriales y aplicaciones comerciales, requieren de vapor y calor a baja temperatura; mediante la cogeneración, se puede combinar la producción de electricidad y calor para los procesos, aprovechando la energía que de otra forma se desearía, como ocurre en las centrales termoeléctricas convencionales, esta forma de aprovechar el calor de desecho es lo que convierte a la cogeneración en una fuente de energía perteneciente al régimen especial.

**Figura 1.10: Procesos Industriales**



Fuente: [www.conuee.gob.mx](http://www.conuee.gob.mx)

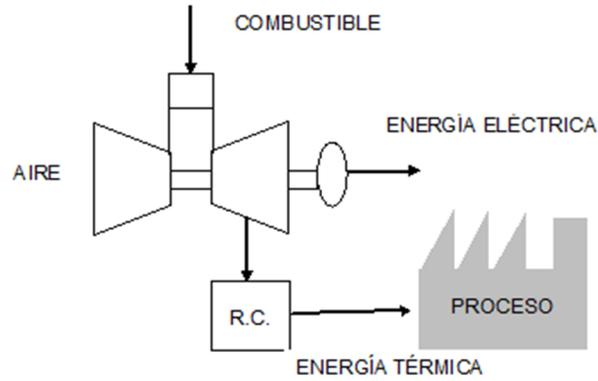
### *Tipos de cogeneración*

Los sistemas de cogeneración pueden clasificarse de acuerdo con el orden de producción de electricidad y energía térmica:

Sistemas superiores (Topping Cycles) Figura 1.11 y Figura 1.12

Sistemas inferiores (Bottoming Cycles) Figura 1.13

**Figura 1.11: Sistema Superior con turbina de gas**

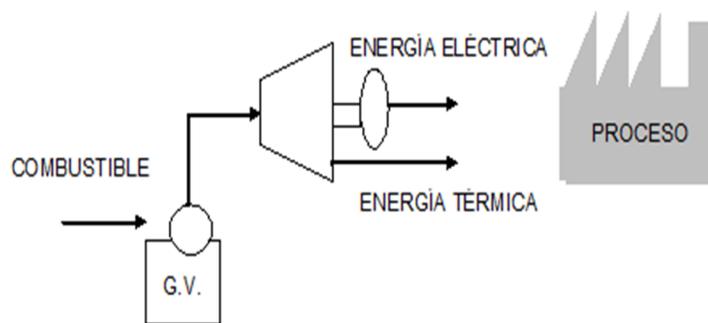


**Fuente: [www.conuee.gob.mx](http://www.conuee.gob.mx)**

Los sistemas superiores de cogeneración que son los más frecuentes, son aquellos en los que una fuente de energía primaria (como el gas natural, diesel, carbón u otro combustible), se utiliza directamente para la generación de energía eléctrica, a partir de la energía química del combustible se produce un fluido caliente que se destina para generación mecánica y la energía térmica resultante.

El denominado calor residual como vapor o gases calientes, es suministrada a los procesos industriales ya sea para su secado, cocimiento o calentamiento, este tipo de sistemas se utiliza principalmente en la industria textil, petrolera, celulosa y papel, cervecera, alimenticia, azucarera, entre otras, donde sus requerimientos de calor son moderados a bajos con temperaturas entre 250 °C y 600 °C<sup>6</sup>.

**Figura 1.12: Sistema superior con turbina de vapor**

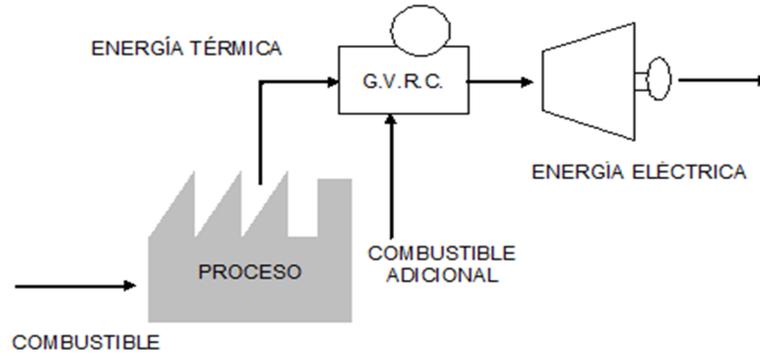


**Fuente: [www.conuee.gob.mx](http://www.conuee.gob.mx)**

En los sistemas inferiores, la energía primaria se utiliza directamente para satisfacer los requerimientos térmicos del proceso y la energía térmica residual o de desecho, se usa para la generación de energía eléctrica en segundo término.

<sup>6</sup> Gestión Técnica y Económica del Sector Eléctrico, 2008.

**Figura 1.13: Sistema inferior con turbina de vapor**



Fuente: [www.conuee.gob.mx](http://www.conuee.gob.mx)

Los ciclos inferiores están asociados a procesos industriales en los que se presentan altas temperaturas como el cemento, la siderúrgica, vidriera y química, en tales procesos resultan calores residuales del orden de 900 °C que pueden ser utilizados para la producción de vapor y electricidad

Dependiendo del sistema empleado para generar electricidad, existen diferentes formas de realizar el proceso de cogeneración, así como sus ventajas y desventajas, siendo estas establecidas en la tabla 1.2:

**Tabla 1.2: Ventajas y desventajas de un sistema de cogeneración**

TIPOS	VENTAJAS	DESVENTAJAS
TURBINA DE GAS	Amplio rango de aplicaciones	Limitaciones debidas al combustible
	Gran fiabilidad	
	Calor de alta temperatura	Periodo de vida corto (<15 años)
	Rango de 0.5 a 100 MW	
Gases con un alto contenido de oxígeno		
TURBINA DE VAPOR	Rendimiento global alto	Baja proporción electricidad/calor
	Gran seguridad	No permite alcanzar un alto poder eléctrico
	Se puede usar cualquier tipo de combustible	Gran costo económico
	Largo periodo de vida (>15 años)	Arranque lento
MOTOR ALTERNATIVO	Alta proporción electricidad/calor	Alto costo de mantenimiento
	Gran rendimiento eléctrico	
	Bajo costo	La energía calorífica se dispersa en grandes cantidades y a baja temperatura
	Largo periodo de vida (<15 años)	
Puede adaptarse fácilmente a variaciones según la demandada		

Fuente: [www.conuee.gob.mx](http://www.conuee.gob.mx)

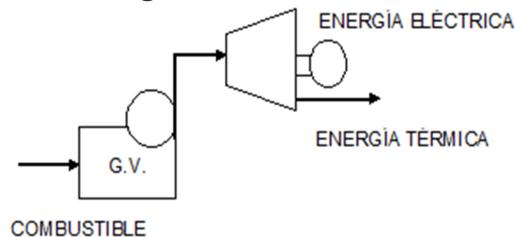
Otra clasificación generalmente empleada, y quizá la más utilizada, para los sistemas de cogeneración, es la que se basa en el motor principal empleado para generar la energía eléctrica.

Los diferentes tipos son:

- Cogeneración por turbina de vapor. Figura 1.14
- Cogeneración por turbina de gas. Figura 1.15
- Cogeneración con ciclo combinado. Figura 1.16
- Cogeneración con motor alternativo. Figura 1.17

En estos sistemas la energía mecánica se produce por la expansión del vapor de alta presión procedente de una caldera convencional; el uso de esta turbina fue el primero en cogeneración, actualmente su aplicación a quedado limitada como complemento para ciclos combinados o en instalaciones que utilizan combustibles residuales.

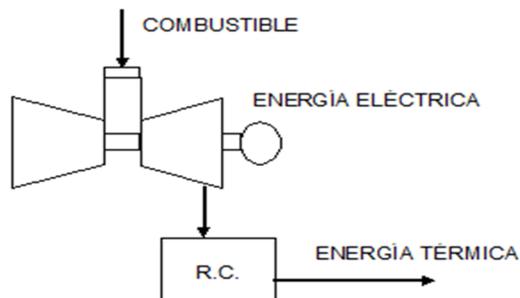
**Figura 1.14: Cogeneración con Turbina de vapor**



**Fuente: [www.conuee.gob.mx](http://www.conuee.gob.mx)**

En los sistemas con turbina de gas se quema combustible en un turbogenerador; parte de la energía se convierte en energía mecánica que se transformará con ayuda de un alternador en energía eléctrica; su rendimiento eléctrico es inferior al de los motores alternativos, pero presentan la ventaja de que permiten una recuperación fácil del calor, que se encuentra en su totalidad en los gases de escape, que está a una temperatura de 500 °C, idónea para producir vapor en una caldera de recuperación

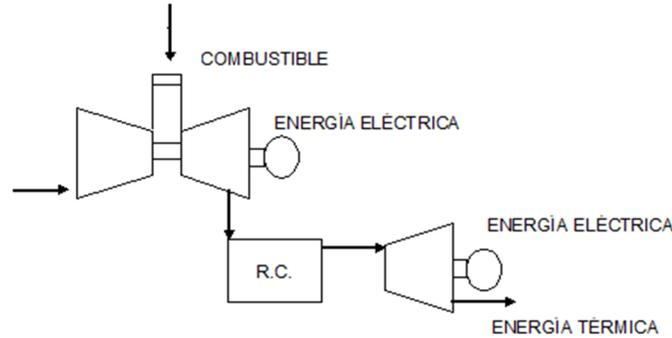
**Figura 1.15: Cogeneración con Turbina de gas**



**Fuente: [www.conuee.gob.mx](http://www.conuee.gob.mx)**

La aplicación conjunta de una turbina de gas y una turbina de vapor es el que se denomina ciclo combinado; en un ciclo combinado con turbina de gas el proceso de vapor es esencial para lograr la eficiencia, la selección de la presión y la temperatura del vapor vivo se hace en función de las turbinas de gas y vapor seleccionadas.

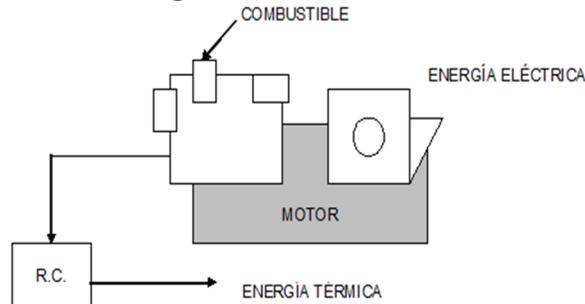
**Figura 1.16: Cogeneración con ciclo combinado**



Fuente: [www.conuee.gob.mx](http://www.conuee.gob.mx)

Utilizan gas, gasóleo o fuel-oil como combustible; son muy eficientes eléctricamente, pero son poco eficientes térmicamente, el sistema de recuperación térmica se diseña en función de los requisitos de la industria y en general se basan en la producción de vapor a baja presión (10 bares).

**Figura 1.17: Cogeneración con motor alternativo**



Fuente: [www.conuee.gob.mx](http://www.conuee.gob.mx)

En la siguiente tabla 1.3 se presenta el tipo de tecnología o sistema de cogeneración; la relación Q/E, y la temperatura del fluido caliente correspondiente que se puede generar por ese sistema. lo cual nos da una primera aproximación de la tecnología que se debe aplicar para cada uno de los procesos específicos.

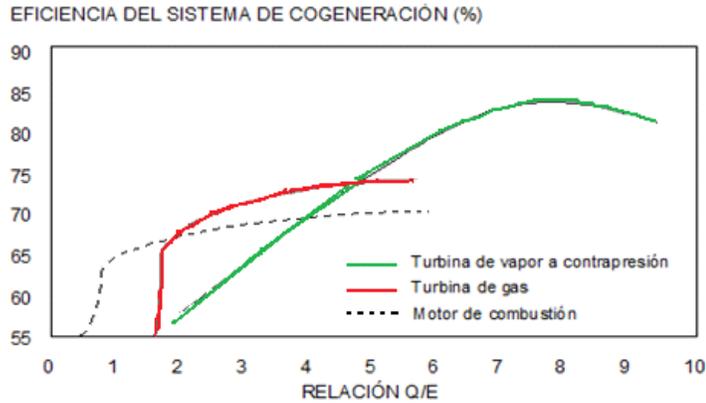
**Tabla 1.3: Tipos de tecnología, relación Q/E.**

SISTEMA DE COGENERACIÓN	RELACIÓN Q/E	TEMPERATURA DEL FLUIDO CALIENTE
Turbina de gas	De 1.2 a 4	De 120 a 400 °C
Turbina de vapor	De 2 a 30	De 80 a 150 °C
Motor de combustión interna	De 0.8 a 2	De 120 a más de 400 °C

Fuente: [www.conuee.gob.mx](http://www.conuee.gob.mx)

En cuanto a la eficiencia del sistema de cogeneración que se puede alcanzar y la relación Q/E (se define la relación calor (Q)/electricidad (E)) por la relación de las demandas máximas térmicas y eléctrica, promedio), se observa que estas se encuentran íntimamente relacionadas con el sistema de cogeneración utilizado, esto representado en la figura 1.18

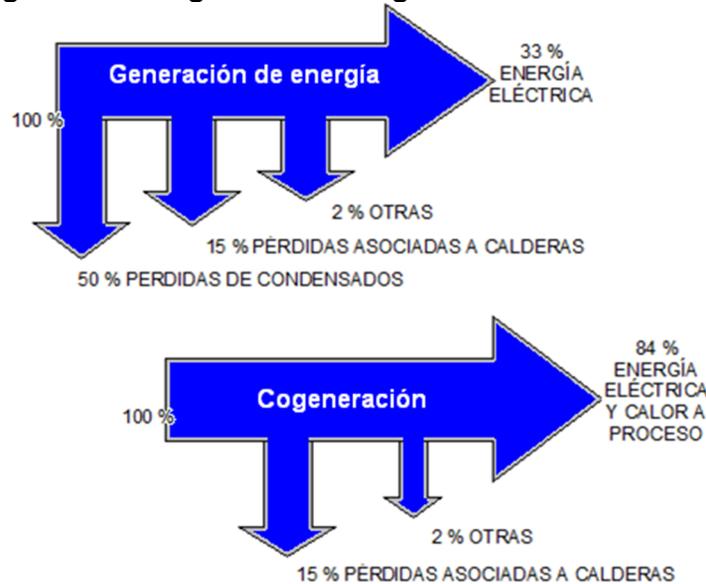
**Figura 1.18: Eficiencia & Relación Q/E<sup>7</sup>**



Fuente: [www.conuee.gob.mx](http://www.conuee.gob.mx)

En los sistemas de cogeneración, se aprovecha hasta el 84 % de la energía contenida en el combustible para la generación de energía eléctrica y calor a proceso (25-30 % eléctrico y 59-54 % térmico); lo anterior representado en la figura 1.19 cogeneración vs generación convencional.

**Figura 1.19: Cogeneración vs generación convencional**



Fuente: [www.conuee.gob.mx](http://www.conuee.gob.mx)

Las principales características de las plantas de cogeneración en cuanto a tecnología, economía, administración de energía y ecología son los siguientes:

En cuanto a tecnología por:

<sup>7</sup> Gestión Técnica y Económica del Sector Eléctrico, 2010, consultado el 25 de octubre de 2010.

*Energía eléctrica:* Una central de cogeneración puede disponer de una segunda fuente de energía eléctrica, además de la red de alta confiabilidad; contribuye a la estabilización de la tensión de la red (dado que mejora el equilibrio al reducir la intensidad eléctrica circulante desde las subestaciones de distribución hasta los consumidores) en consecuencia, reduce las pérdidas de energía en la red.

Las actuales tecnologías de control permiten asegurar una óptima calidad de la energía eléctrica generada, tanto en tensión como en frecuencia, superando en muchos casos a la de la propia red, inevitablemente influenciados por armónicos y desequilibrios de carga originados por industrias vecinas.

*Energía térmica:* Normalmente implica una renovación del sistema de calderas donde se emplea, que puedan eliminar sus equipos más obsoletos y dejar los más nuevos y eficientes para situaciones de emergencia o para complemento de los equipos de la central

Los equipos térmicos de las centrales de cogeneración son muy convencionales, en muchos casos son equipos que no disponen de un proceso de combustión, lo que prácticamente elimina su mantenimiento y permite que su disponibilidad sea muy elevada.

*Operación y mantenimiento:* Existe un mantenimiento muy especializado, que debe realizarse en determinadas áreas de los equipos principales, turbina de gas, turbina de vapor y motores, este tipo de mantenimiento debe de ser contratado (en muchas ocasiones al mismo fabricante del equipo) el cual tiene un costo muy elevado; el resto de equipos calderas, equipos eléctricos, etc., no requieren de atenciones especiales, sus costos de operación son bajos, estas centrales son completamente automáticas y requieren de muy poca atención,

*Combustibles empleados:* El gas natural dentro de la gama de combustibles es el más conveniente, el que menos contamina y el que permite disponer de sistemas de generación más modernos y eficientes. Asegura también la viabilidad de su operación al ser un combustible limpio.

*Seguridad:* Las plantas de cogeneración disponen de modernos sistemas de control y seguridad que impiden accidentes graves; aunque es conveniente la contratación de seguros de accidentes y de incumplimiento para cubrir eventualidades.

*Vida del proyecto:* Las plantas de cogeneración adecuadamente mantenidas y operadas pueden estar operativas entre 20 y 30 años.

En cuanto a economía por:

*Costos energéticos:* En general una planta de cogeneración producirá una energía que será siempre más económica que la obtenida de la red eléctrica; la razón de ello esta que su consumo específico será siempre inferior al de una planta de energía convencional que no pueda sacar provecho de sus efluentes térmicos (es decir, la generada por las grandes centrales termoeléctricas); el mayor o menor ahorro está muy vinculado con las políticas de subsidio a las tarifas de la energía eléctrica que pueda tomar el Estado en determinantes circunstancias.

En cuanto a la administración de la energía por:

**Control operativo:** La existencia de una planta de servicios auxiliares implica tener un control operativo detallado de los consumos de energía eléctrica y térmica del proceso industrial; eso es siempre positivo, pues permite reconocer la aparición de ineficiencias dentro del mismo proceso industrial.

En cuanto a ecología por.

**Impacto ambiental:** La cogeneración reduce la emisión de contaminantes debido principalmente a que es menor la cantidad de combustible que consume para producir la misma cantidad de energía útil, es decir globalmente contaminan menos porque aprovechan mucho mejor la energía; además los sistemas de cogeneración suelen utilizar tecnologías más avanzadas y combustibles más limpios como el gas natural.

La importancia de la cogeneración por su rendimiento energético se resume en la siguiente tabla 1.4 Rendimiento energético.

**Tabla 1.4: Rendimiento energético**

Sistema		Energía en KW/h	Cogeneración		Convencional		Energía primaria recuperada
			Rend. total	Energía primaria consumo	Rend. total	Energía primaria consumo	
Turbina de gas	Eléc.	26.5	81 %	100	0.33%	80.3	28 %
	Calor	54.4			0.93%	58.5	
	Total	80.9				138.8	
Turbina de vapor	Eléc.	15	90 %	100	0.33%		21 %
	Calor	75			0.93%	126.1	
	Total	90					
Motor alterno	Eléc.	36	70 %	100	0.33%	109	31 %
	Calor	34			0.93%	36.6	
	Total	70				145.6	
Turbina de gas con post comb	Eléc.	17	87 %	100	0.33%	51.5	21 %
	Calor	69.7			0.93%	74.9	
	Total	86.7				126.4	

Fuente: [www.conuee.gob.mx](http://www.conuee.gob.mx)

#### 1.1.4 Sustentabilidad

La sustentabilidad se refiere a la administración eficiente y racional de los recursos naturales, de manera tal que sea posible mejorar el bienestar de la población actual sin comprometer la calidad de vida de las generaciones futuras; uno de los principales retos que enfrenta México es incluir el medio ambiente como uno de los elementos de la competitividad y el desarrollo económico y social; solo así se puede alcanzar un desarrollo sustentable<sup>8</sup>.

Desafortunadamente, los esfuerzos de conservación de los recursos naturales y ecosistemas suelen verse obstaculizados por un círculo vicioso que incluye pobreza, agotamiento de los recursos naturales y deterioro ambiental, es necesario que el desarrollo de nuevas actividades económicas en regiones rurales y semirurales contribuya a que el ambiente se conserve en las mejores condiciones posibles; todas las políticas que consideran la sustentabilidad ambiental en

<sup>8</sup> Revista Ideas CONCYTEG, 2009, consultado el 14 de octubre de 2010.

el crecimiento de la economía son centrales en el proceso que favorece el desarrollo humano sustentable.

La sustentabilidad ambiental requiere así de una estrecha coordinación de las políticas públicas en el mediano y corto plazo; esta es una premisa para el país, y en este plan de desarrollo se traduce en esfuerzos significativos para mejorar la coordinación interinstitucional y la integración intersectorial.

En México se ha optado por sumarse a los esfuerzos internacionales suscribiendo importantes acuerdos, entre los que destacan el Convenio sobre diversidad biológica; la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático y su Protocolo de Kyoto; el convenio de Estocolmo, sobre contaminantes orgánicos persistentes; el Protocolo de Montreal, relativo a las sustancias que afectan la capa de ozono, la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la desertificación; la Convención sobre el Comercio Internacional de especies amenazadas de fauna y flora silvestres; y los objetivos del milenio de la Organización de las Naciones Unidas; estos acuerdos tienen como propósito hacer de México un participante activo en el desarrollo sustentable<sup>9</sup>.

El cambio climático, la reducción de la capa de ozono, la lluvia ácida, el incremento de los residuos industriales, la contaminación del suelo y el agua por metales pesados y desechos tóxicos, la pérdida de recursos forestales, la desertificación, la sobreexplotación de los recursos hídricos y la pérdida de la biodiversidad serían algunas de sus consecuencias.

## **1.2 SISTEMA ELECTRICO DE POTENCIA**

Un sistema eléctrico de potencia es un conjunto de elementos que permiten producir, transportar, distribuir y consumir la energía eléctrica; en todo sistema, es primordial que se conserven los siguientes parámetros para su operación óptima, como son: voltaje, frecuencia y ángulo de fase, para satisfacer adecuadamente la continuidad del servicio<sup>10</sup>.

Se deben de considerar tres aspectos en un sistema eléctrico de potencia: funcionamiento normal, previsión de una falla eléctrica y reducción de los efectos de una falla eléctrica, en los sistemas eléctricos de potencia, es necesario conceptualizar los elementos que lo conforman, siendo estos:

- Sistemas de generación
- Sistemas de transformación
- Sistemas de transmisión
- Sistemas de distribución

### **1.2.1 Sistemas de generación.**

Son las instalaciones que producen la energía eléctrica y las que permiten que ésta sea entregada al sistema de transmisión, por ejemplo, generadores y subestaciones elevadoras; las plantas generadoras de energía eléctrica se caracterizan primeramente en función de la fuente de energía, como:

---

<sup>9</sup> Revista Ideas CONCYTEG, 2009, consultado el 24 de octubre de 2010.

<sup>10</sup> Fundamentos de Instalaciones Eléctricas, Harper Enríquez, Ed. Limusa, 1985, consultado el 4 de noviembre de 2010.

- Hidroeléctricas: aprovechamiento de caídas de agua. Figura 1.20

**Figura 1.20: Central Hidroeléctrica Krasnoyarsk, Rusia.**



**Fuente: [www.es.wikipedia.org](http://www.es.wikipedia.org)**

- Termoeléctricas: aprovechamiento de la energía de combustibles fósiles. Figura 1.21
  - Turbo gas
  - Ciclo combinado

**Figura 1.21 Central termoeléctrica Velilla, España.**



**Fuente: [www.es.wikipedia.org](http://www.es.wikipedia.org)**

- Núcleo eléctricas: aprovechamiento de la fisión nuclear. Figura 1.22

**Figura 1.22: Central nuclear Cattenom, Francia.**



**Fuente: [www.es.wikipedia.org](http://www.es.wikipedia.org)**

- Maremotrices: aprovechamiento de las mareas.

- Geotérmicas: aprovechamiento de gases o vapores de agua expulsados de la Tierra.  
Figura 1.23

**Figura 1.23: Central geotérmica Puhagan, Filipinas.**



**Fuente: [www.es.wikipedia.org](http://www.es.wikipedia.org)**

- Aéreomotriz: aprovechamiento de la fuerza del viento.
- Foceldas: aprovechamiento de la energía solar.

Hay una gran variedad de formas de diferenciar las características de las plantas generadoras y es por:

- Por su capacidad de generación: Esto es en función de los watts que es posible obtener de ellas.
- Por el uso que se le destine:
  - De régimen continuo (operación de 24 horas)
  - De régimen intermitente o picos (operación en demanda máxima)

### **1.2.2 Sistemas de transformación.**

Los sistemas de transformación son básicamente las subestaciones eléctricas de potencia, estas se pueden clasificar de acuerdo a su uso:

- Subestaciones elevadoras: Son aquellas instalaciones que reciben energía eléctrica producida por las plantas generadoras que la transforman a niveles adecuados y proporcionan con características adecuadas al sistema de transmisión.
- Subestaciones de switcheo: Son las instalaciones que permiten la realización de maniobras de operación.
- Subestaciones de enlace: Son las instalaciones en las que se interconectan sistemas de transmisión y sub transmisión.
- Subestaciones reductoras: Son las instalaciones que reciben la energía eléctrica y la transforman a los niveles adecuados de utilización.

**Figura 1.24: Modo de Transformación, subestación Río escondido, Coahuila.**



Fuente: [www.abengomexico.com.mx](http://www.abengomexico.com.mx)

### 1.2.3 Sistemas de transmisión

Son las instalaciones que transportan toda la energía eléctrica que producen los sistemas de generación hasta los centros de consumo, la clasificación de los sistemas de transmisión es de acuerdo a su nivel de operación:

- Líneas de transmisión: Son aquellos circuitos que interconectan los sistemas de generación con las subestaciones de distribución, y en base a su nivel de tensión, pueden ser:
  - Líneas de alta tensión (115 KV a 230 KV)
  - Líneas de extra alta tensión (345KV a 765KV)
  - Líneas de ultra alta tensión (> de 765KV)
- Líneas de sub transmisión: Son aquellos cuyo rango de operación oscila entre 112. 8 KV y 138 KV.

En términos generales las líneas de retransmisión, son conductores que interconectan plantas con subestaciones a plantas entre sí; la potencia que una línea puede conducir depende de la sección (área) del conductor; el equipo que soporta a los conductores eléctricos se divide en tres áreas:

- Estructuras, torres de transmisión y de transferencia; son el soporte mecánico de conductores, aisladores, herrajes e hilo de guarda.
- Aisladores y herrajes: Son los elementos a través de los cuales se sujeta el conductor a la estructura.
- Hilo de guarda: Está constituido por un cable de acero que se instala en la parte superior de la torre de transmisión y a lo largo de la misma, con el objetivo de proteger ante las descargas atmosféricas.

**Figura 1.25: Líneas de transmisión**



**Fuente: [www.capital.com.pa](http://www.capital.com.pa)**

#### **1.2.4 Sistemas de distribución**

Son las instalaciones que reciben la energía eléctrica del sistema de transmisión y la transforman a valores adecuados para su distribución; se conocen como líneas de distribución, a aquellos circuitos de corriente alterna que transmiten la potencia desde las subestaciones reductoras o de distribución hasta el final del sistema eléctrico, donde se encuentran las tomas de corriente, donde se proporciona la energía a los consumidores, conforme la nivel de utilización (industrial, comercial o doméstico); estos circuitos operan entre 2.4 KV a 34.5 KV.

Para desarrollar un sistema de distribución eléctrico se describe lo siguiente:

- **Levantamiento de cargas o estimación de cargas:** Se debe de determinar el número de motores, su potencia y datos de placa, contactos trifásicos, tipo de alumbrado, cargadores de baterías, instrumentos a alimentar, etc., elaborando una distribución con la ubicación del equipo y sus características eléctricas (potencia, tensión, fases, etc.)
- **Determinación de la demanda:** Es la suma de los volt-amperes de las cargas, donde se proporcionará la carga conectada total; dado que algunos equipos operan a menos de su capacidad plena y otros lo hacen intermitentemente, la demanda resultante es menor que la carga instalada.
- **Arreglo eléctrico:** Con los diferentes esquemas de distribución.
- **Clasificación de áreas peligrosas:** Es muy importante realizar los estudios de este tipo porque de ello depende la selección de los equipos y materiales eléctricos a emplear.
- **Sistema de red de tierras:** Es con el objetivo de que se logre la protección de las personas; equipos, aparatos e instalaciones en general contra descargas atmosféricas, estáticas o choques eléctricos producidos por la diferencia de potencial, originados por el contacto de conductores energizados con partes metálicas o bien por el paso de las corrientes de falla.
- **Localización del equipo:** En general mientras más cerca se localice los transformadores del centro de carga del área servida, menores serán los costos del sistema de distribución; las subestaciones eléctricas deberán estar fuera de áreas peligrosas, previo estudio antes de su localización.

- Selección de tensión: Los niveles de tensión primarios son determinados por la compañía suministradora.
- Compañía suministradora: Para determinar los requerimientos del servicio.
- Generación: Dependiendo de las regulaciones del país y de las características de la planta se puede decidir si:
  - Comprar la energía
  - Generación de emergencia
  - Generación rodante
  - Generar toda la energía
- Diagrama unifilar o trifilar: Es un elemento muy importante en la planeación del sistema eléctrico, debiendo contener lo siguiente:
  - Fuentes de energía, tensiones y corrientes de corto circuito
  - Tipo, tamaño, capacidades y número de motores
  - Características de transformadores
  - Relaciones de los transformadores de potencial y de corriente
  - Número de conductores por fase
  - Cargas de alumbrado, de instrumentos y de contactos trifásicos
  - Otros equipos conectados
- Análisis de corto circuito y protección: Se debe calcular el corto circuito presente en los principales componentes del sistema (tableros de alta y baja tensión, tableros de distribución de alumbrado, etc.); diseñando un sistema de protección como parte integral.
- Expansión futura: Si se está diseñando la expansión de un sistema existente, hay que cuidar que el equipo soporte la carga adicional y el nuevo corto circuito.
- Seguridad, comunicaciones y mantenimiento:

Seguridad: Las causas firmes que adecuan la seguridad en todas las partes del sistema eléctrico; importante son: la seguridad de la vida y la preservación de la propiedad.

Comunicaciones: Cualquier plan para la protección de una planta debe incluir un seguro sistema de comunicación, como podrían ser teléfonos, altoparlantes, circuitos cerrados de televisión e intercomunicación y voceo.

Mantenimiento: Debe planearse el sistema de tal forma que se pueda efectuar el mantenimiento preventivo proporcionando espacio para trabajar, con acceso fácil a inspección, facilidades para probar o toma de muestras, medios de desconexión para cuando se trabaja en el equipo.

**Figura 1.26: Sistemas de distribución, subestación Teotihuacán, Edo. de México.**



Fuente: [www.teotihuacanblogspot.com](http://www.teotihuacanblogspot.com)

### 1.2.5 Sistemas de control e instrumentación

Los sistemas de instrumentación están divididos tanto en sistemas de medida como en sistemas de control; en un sistema de medida una magnitud es medida y su valor es convenientemente visualizado; en los sistemas de control la información acerca de la magnitud que está siendo medida es usada para controlar la magnitud, de manera que su valor medido iguale un valor deseado, el valor medido puede ser visualizado o no;

El control de una subestación, de operación automática o manual, requiere de una cantidad considerable de aparatos indicadores, registradores o elementos de señal, en particular la subestación de operación manual, ya que en ellos se basan las maniobras necesarias y, en menor grado, la que se opera automáticamente para los fines de ajuste, inspección, prueba, etc.

Los instrumentos se clasifican en tres categorías según se indiquen, registren o integren alguna magnitud en tiempo predeterminado:

- *Uso momentáneo:* Es decir indican sólo un instante y no dejan huella utilizable.
- *Registradores:* Son empelados en operación manual o automática; sirven de base para ajuste o reparación de algún órgano que no cumpla su misión en las subestaciones automáticas; en la operación manual, para comprobar la eficiencia de la atención o para registrar valores muy variables o de importancia trascendental para la operación futura.
- *Integradores:* Sirven principalmente para determinar consumos de energía, demandas y otras cantidades relacionadas con el tiempo; son también muy útiles para fines estadísticos.

Los principales instrumentos de medición requeridos para el control de la subestación son los siguientes:

Amperímetros. Además de lo que su nombre lo indica, se emplean para:

- Indicar calentamiento de las máquinas, conductores, reactores y equipo de conducción e interrupción del sistema.
- Repartir la carga entre máquinas que operan en paralelo, para reducir el efecto Joule total.
- Determinar las características de demanda de circuitos diversos.
- Revelar algunas fallas de conducción y operación.

Vóltmetros. Aparte de medir volts, se usan para:

- Dar a un sistema la tensión correcta.
- Poner en paralelo una nueva unidad.
- Revelar algunas fallas.

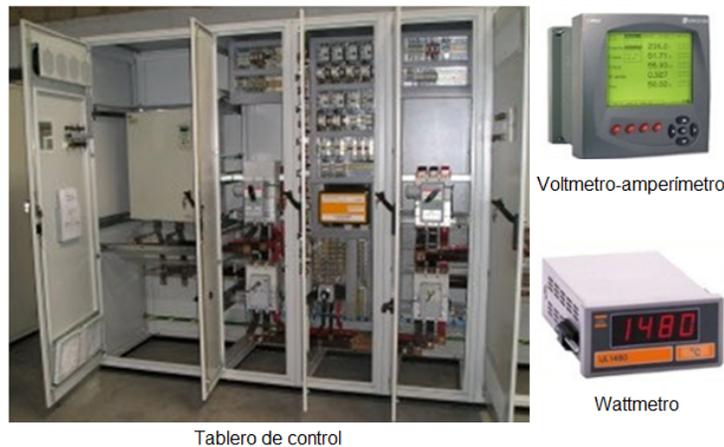
Wattmetros. Se utilizan para:

- Determinar las características de demanda, etc.
- Revelar algunas fallas.
- Controlar los intercambios de energía entre sistemas en paralelo.

Factorímetros. Además de lo que indica su denominación, son usados para:

- Medir el consumo de los circuitos especiales.
- Señalar el monto de la energía para el pago del impuesto.
- Calcular demandas con base en cualquier intervalo.
- Determinar la eficiencia media de la subestación.

**Figura 1.27: Sistemas de control e instrumentación en una subestación**



Fuente: [www.aceroyyunque.com](http://www.aceroyyunque.com)

### 1.2.6 Equipos y Normas

Los equipos que constituyen una subestación se pueden clasificar en elementos principales y elementos secundarios.

*Elementos principales:* Transformador, interruptor de potencia, restaurador, cuchillas fusible, cuchillas desconectoras y cuchillas de prueba; apartarrayos, tableros de control, condensadores y transformadores de instrumento

*Elementos secundarios:* Cables de potencia, cables de control, alumbrado, estructura, herrajes, canalizaciones, derivaciones, sistema de tierras, equipo contra incendio, intercomunicación.

La normatividad conforma los requisitos mínimos aceptables de seguridad tanto de personas, equipo e instalaciones, se realiza con el objeto de establecer aquellos requisitos técnicos y de seguridad que requieren mantenerse permanentemente actualizados y, por lo tanto, deben estar sujetos a revisión continua<sup>11</sup>.

<sup>11</sup> NOM-001 2005 SEDE Instalaciones Eléctricas, 2005, consultado el 4 de noviembre de 2010.

El objeto primordial de la aplicación de las normas es la protección de la vida y las propiedades de las personas contra los riesgos que representan el uso y el suministro de energía eléctrica; sus requisitos deben considerarse como requisitos mínimos de seguridad y, en el caso general, su cumplimiento permite obtener un servicio satisfactorio, pero estos requisitos no necesariamente representan las condiciones óptimas de servicio; con frecuencia es recomendable usar valores y diseños más amplios para tener una mejor calidad de servicio y prever aumentos de carga en el sistema.

Los códigos y normas aplicables son, considerando que deben ser de la última edición:

- NOM Normas Oficiales Mexicanas
- NMX Normas Mexicanas
- IEEE Institute of Electrical and Electronics Engineers
- IEC International Electrotechnical Commission
- ANSI American National Standard Institute
- NEMA National Electrical Manufacturers Association
- NEC National Electrical Code
- NESC National Electrical Safety Code
- ICEA Insulated Cable Engineers Association
- UL Underwrite Laboratories
- FM Factory Mutual
- ISA Instrument Society of America
- NFPA National Fire Protection Association
- CSA Canadian Standard Association

### **1.3 Instalaciones eléctricas**

El diseño de la instalación eléctrica consiste en la selección de las trayectorias aéreas y/o subterráneas, y equipos necesarios que entregan la energía requerida y tendrán la flexibilidad necesaria para ampliarse y/o modernizarse con el mínimo de cambios a las instalaciones existentes<sup>12</sup>.

#### **1.3.1 Acometida**

La acometida es una derivación que conecta la red del suministrador de energía eléctrica a las instalaciones del usuario; se aplica también al punto o lugar de alimentación a equipos o subestaciones eléctricas<sup>13</sup>.

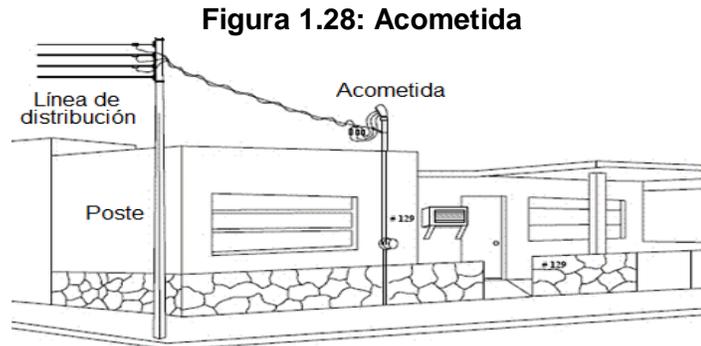
Un edificio, planta industrial, centro de trabajo, o cualquier otra instalación al que se le suministre energía eléctrica a través de una compañía suministradora, debe tener una sola acometida tomando en cuenta los casos de excepción que se pudieran presentar.

---

<sup>12</sup> Fundamentos de Instalaciones Eléctricas, Harper Enríquez, Ed. Limusa, consultado el 4 de noviembre de 2010

<sup>13</sup> NOM-001 SEDE 2005 Instalaciones Eléctricas, consultado el 8 de noviembre de 2010.

Las acometidas eléctricas y sus componentes incluyendo conductores, equipos de acometida, dispositivos para el control medición y protección así como los requisitos necesarios para su instalación deben cumplir con los requerimientos establecidos en el proyecto a desarrollarse.



**Fuente: Elaboración propia**

Debe tomarse en cuenta para la acometida eléctrica, la magnitud de la carga y el nivel de tensión requerida, debiendo manifestar a la compañía suministradora el requerimiento del servicio, indicando el lugar y ubicación del suministro, nivel de tensión de fases, frecuencia, desglose de carga conectada y demandada, diagrama unifilar general y tarifa solicitada.

### 1.3.2 Subestaciones

El diseño de la subestación se deben tomar en cuenta las condiciones ambientales del lugar de instalación como son: temperatura ambiental (máxima, mínima y media), altitud sobre el nivel del mar, velocidad del viento, clasificación sísmica, contaminación ambiental, humedad, presencia de hielo, entre otros.

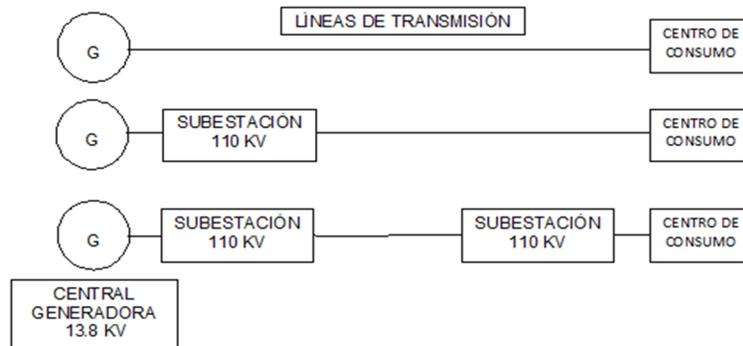
Para el diseño de la subestación se deben considerar los siguientes factores:

- Condiciones de seguridad para el personal.
- Mecánica del suelo.
- Acceso controlado al personal.
- Simplicidad en las maniobras de operación.
- Espacio para mantenimiento.
- Protección contra incendio.
- Grado de confiabilidad.
- Ubicación dentro del sistema.
- Localización del equipo.
- Relación de transformación.
- Niveles de tensión.
- Resistividad del terreno.
- Continuidad del servicio.
- Tipo de instalación
- Demanda de energía
- Capacidad de corto circuito
- Crecimiento futuro.

En el empleo de la energía eléctrica ya sea para fines industriales, comerciales o de uso residencial, interviene una gran cantidad de máquinas y equipo eléctrico; un conjunto de equipo eléctrico utilizado para un fin determinado se le conoce con el nombre de subestación eléctrica.

Una subestación eléctrica no es más que una de las partes que intervienen en el proceso de generación-consumo de energía eléctrica, por lo cual se tiene: una subestación eléctrica es un conjunto de elementos o dispositivos que permiten cambiar las características de energía eléctrica (voltaje, corriente, frecuencia, etc.), tipo C.A. a C.C. o bien conservarse dentro de ciertas características<sup>14</sup>.

**Figura 1.29 Transmisión de la energía eléctrica**



**Fuente: Fundamentos de Energía Eléctrica, Harper Enríquez, Ed. Limusa.**

De la Figura 1.29 se deduce que para poder elevar el voltaje de generación de 13.8 kV al de transmisión de 110 kV es necesario emplear una subestación eléctrica, suponiendo que la caída de voltaje en la línea de transmisión fuera cero volts, se tendría en el centro de consumo 110 kV; es claro que este voltaje no es posible emplearlo en instalaciones industriales y aún menos en comerciales y residenciales, de donde se desprende la necesidad de reducir el voltaje de transmisión de 110 kV a otro u otros más convenientes de distribución en centros urbanos de consumo; por tal razón, será necesario emplear otra subestación eléctrica.

De lo anterior se puede deducir que existe una estrecha relación entre las subestaciones eléctricas, líneas de transmisión y centrales generadoras.

Clasificación de las subestaciones eléctricas:

- Por su operación:
  - De corriente alterna (C.A.)
  - De corriente directa (C.C.)
- Por su servicio:
  - Primarias: Elevadoras, Receptoras reductoras, De enlace o distribución, De switcheo o de maniobra, Convertidoras y Rectificadoras
  - Secundarias: Receptoras (reductoras o elevadoras), Distribuidoras, De enlace y Convertidoras rectificadoras

<sup>14</sup> Instalaciones Eléctricas de media y baja tensión, Harper Enríquez, Ed. Limusa, consultado el 25 de noviembre de 2010.

- Por su construcción:
  - Tipo interperie
  - Tipo interior
  - Tipo blindado

### 1.3.3 Protecciones

El propósito del equipo de protección es minimizar los efectos de las fallas en los sistemas eléctricos de potencia, pero desafortunadamente no pueden ser completamente evitadas; en este contexto, el sistema se considera como el conjunto de elementos requeridos para generar, transformar, transmitir, distribuir y utilizar la energía eléctrica, es decir, equipos como generadores, transformadores, líneas aéreas, cables, interruptores, transformadores de instrumento, etc.; las fallas que se presentan pueden ser el resultado de influencias externas o internas, por ejemplo de descargas atmosféricas, sobrecargas, mal manejo del equipo, etc.

Como el daño que provoca una falla depende principalmente de su duración, es necesario que los dispositivos de protección operen tan rápidamente como sea posible; sin embargo, deben también operar en una forma absolutamente selectiva para aislar solamente el elemento que falla en el sistema, los dispositivos deben operar de manera confiable, es decir debe haber una tendencia a no sobre funcionar y tampoco deben funcionar de manera inadecuada.

Entre las consecuencias más importantes de una falla se tienen:

- Daño a la planta debido a los efectos dinámicos de la corriente de falla
- Daño a la planta debido a los efectos térmicos de la corriente de falla
- Pérdida de la estabilidad del sistema
- Pérdida de suministro a las cargas, también durante los tiempos necesarios para reparación de un elemento fallado.
- Riesgo para la vida

En los sistemas eléctricos las medidas de protección se debe agrupar como:

- Protección contra sobretensiones de origen atmosférico o por maniobras de interruptores.
- Protección contra fallas internas en las instalaciones.
- Protección contra incendio.
- Protección contra daño físico.

Todo sistema eléctrico está formado por partes creadas por el hombre y por lo tanto está sujeto a fallas; el conjunto de aparatos y sistemas puestos al servicio del sistema eléctrico, que vigilan que se cumpla adecuadamente el propósito para el que fue creado, es lo que se conoce como protección; la protección evita las fallas y disminuye efectos de éstas. Existen diversas formas de protección, estas a su vez ocupan equipos para poder solventar la continuidad del servicio de energía eléctrica:

- Fusibles
- Apartarrayos
- Hilos de guarda
- Aislamientos
- Ventilación

- Sistemas de tierra
- Protección física
- Protección por relevadores

#### 1.3.4 Sistemas de tierras

Tienen la misión de limitar el valor de la tensión contra tierra de aquellas partes del sistema eléctrico que no deben ser mantenidas ni en tensión, ni aisladas y con las cuales se puede poner en contacto el personal, (por ejemplo: carcasa de una máquina eléctrica, herrajes o fierros de sostén de los aisladores, secundario de las transformadores de medida, sostenes de la línea eléctrica, etc.)<sup>15</sup>

- Sistemas de tierra de funcionamiento: Sirven para poner a tierra, por necesidad de funcionamiento, determinados puntos del circuito eléctrico (neutro de generadores y transformadores, aparatos para la conexión de la tensión contra tierra, apartarrayos, etc.).
- Sistemas de tierra de trabajo: Son sistemas de tierra de protección con carácter provisional, efectuados para poner a tierra parte de una instalación eléctrica, normalmente en tensión, a los cuales se debe llegar para efectuar un trabajo o reparación.

Los sistemas de tierra comprenden:

- El dispensor: constituido por un cuerpo metálico o un conjunto de cuerpos metálicos puestos en contacto directo con la tierra y destinados a dispersar las corrientes de tierra.
- El conductor de tierra: lo constituye un conductor que sirve para unir las partes de puesta a tierra con el dispensor.
- Los colectores eventuales de tierra: conjunto de colectores, en los cuales se hacen más dispersores y conductores de corriente las terminales de ellos.

#### 1.3.5 Canalizaciones

Se entiende por canalizaciones eléctricas a los dispositivos que se emplean en las instalaciones eléctricas para contener a los conductores de manera que queden protegidos contra deterioro mecánico y contaminación, y que además protejan a las instalaciones contra incendios por arcos eléctricos que se presentan en condiciones de cortocircuito<sup>16</sup>; los medios de canalización más comunes en las instalaciones eléctricas son:

*Tubos conduit:* Es usado para contener y proteger los conductores eléctricos usados en las instalaciones, estos tubos pueden ser de aluminio, acero o aleaciones especiales, los tubos de acero a su vez se fabrican en los tipos pesado, semipesado y ligero, distinguiéndose uno de otro por el espesor de la pared.

---

<sup>15</sup> NOM-001 SEDE 2005 Instalaciones Eléctricas

<sup>16</sup> NOM-001 SEDE 2005 Instalaciones Eléctricas

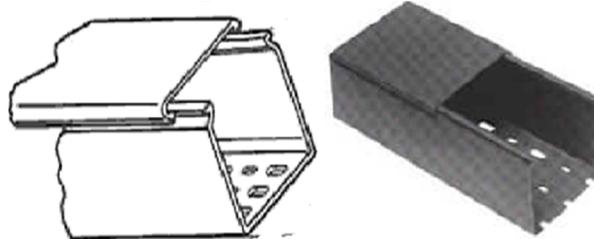
**Figura 1.30: Tubo conduit**



Fuente: [www.plussuministros.com.mx](http://www.plussuministros.com.mx)

*Ductos:* Estos son otros medios para la canalización de conductores eléctricos, se usan solamente en las instalaciones eléctricas visibles ya que no pueden mantenerse embutidos en pared, ni dentro de lazos de concreto; los ductos se fabrican en lámina de acero acanalada de sección cuadrada o rectangular.

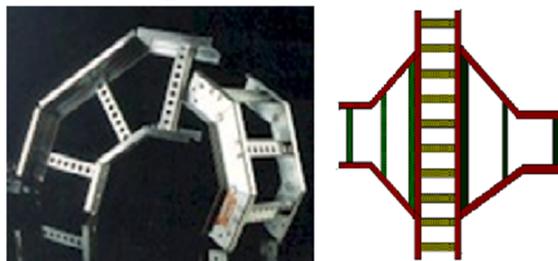
**Figura 1.31: Ductos**



Fuente: [www.plussuministros.com.mx](http://www.plussuministros.com.mx)

*Charolas:* En el uso de charolas se tienen aplicaciones parecidas a las de los ductos con algunas limitantes propias de los lugares en los que se hace la instalación; se procura alinear los conductores de manera que queden siempre en posición relativa en todo el trayecto, especialmente los de grueso calibre.

**Figura 1.32: Charolas**



Fuente: [www.plussuministros.com.mx](http://www.plussuministros.com.mx)

### 1.3.6 Derivaciones

Las cargas en los circuitos derivados deben calcularse como cargas continuas y no continuas, la capacidad nominal del circuito derivado no debe ser inferior a la suma de la carga no continua más el 125% de la carga continua.

*Cargas de alumbrado por uso de edificios:* La carga mínima de alumbrado por cada metro cuadrado de superficie de piso, debe ser mayor o igual que la especificada en la tabla 220-3 (b) de la NOM-001 SEDE 2005 Instalaciones Eléctricas, mostrada como tabla 1.4, Cargas de Alumbrado, para edificios indicados en la misma.

**Tabla 1.5 Cargas de Alumbrado**

Tabla 220-3 cargas de alumbrado general por tipo de inmueble	
Tipo de inmueble	Carga unitaria (VA/m <sup>2</sup> )
Almacenes militares y auditorios	10
Bancos	35 **
Bodegas	2.5
Casa de huéspedes	15
Clubes	20
Edificios de oficinas	35 **
Edificios industriales y comerciales	20
Escuelas	30
Estacionamientos públicos	5
Hospitales	20
Hoteles y moteles, incluidos apartamentos sin cocina	20
Iglesias	10
Juzgados	20
Peluquería y salones de belleza	30
Restaurantes	20
Tiendas	30
Unidades de vivienda*	30
En cualquiera de las de las construcciones excepto viviendas unifamiliares y unidades individuales de vivienda bifamiliares y multifamiliares:	
- Lugares de reunión y auditorios	10
- Vestíbulos, armarios, pasillos y escaleras	5
- Lugares de almacenamiento	2.5
NOTAS:	
* Todas las salidas para receptáculos de uso general de 20 A nominales o menos, en unidades de vivienda unifamiliares, bifamiliares y multifamiliares y en las habitaciones de los clientes en hoteles y moteles (excepto las conectadas a los circuitos receptáculos de corriente eléctrica especificados en 220-4 (a) y (c), deben considerarse para tomas de alumbrado general y en tales salidas no son necesarios cálculos para cargas adicionales	
** Además debe incluirse una carga unitaria de 10 (VA/?? <sup>2</sup> ) para las salidas de receptáculos de uso general cuando este tipo de salidas de receptáculos sea desconocido	

**Fuente: NOM-001 SEDE 2005 Instalaciones Eléctricas**

### 1.3.7 Cargas

El consumo o carga de un sistema, está constituido por un gran número de cargas individuales de diferentes clases, que pueden ser industrial, comercial y residencial; la energía eléctrica consumida por esta carga total, más las pérdidas que lógicamente existen, son equivalentes a la energía eléctrica suministrada por las plantas generadoras, lo que permite mantener un equilibrio entre: Generación = Consumo + Pérdidas

Para asegurar la continuidad del servicio, deben de tomarse las disposiciones necesarias para hacer frente a una falla en algún elemento del sistema, siendo algunas:

- Disponer de la reserva de generación adecuada para hacer frente a la posible salida del servicio o indisponibilidad de cierta capacidad de generación.
- Disponer de un sistema de protección automático que permita eliminar con la rapidez necesaria cualquier elemento del sistema de potencia, que haya sufrido una avería.
- Diseñar el sistema de manera que la falla y desconexión de un elemento, tenga la menor repercusión posible sobre el resto del sistema.
- Disponer de los medios para un restablecimiento rápido del servicio, disminuyendo así la duración de las interrupciones, cuando estas no han podido ser evitadas.
- Disponer de circuitos de emergencia, para fallas en la alimentación.

Tipos de cargas:

*Residencial:* Rural, urbana y suburbana

*Comercial:* Zona centro-ciudad, zona comercial, edificios comerciales e Industrial

### **1.3.8 Sistemas de iluminación**

Para propósito de ingeniería de iluminación, se define la luz como, la energía radiante considerada de acuerdo a su capacidad para producir sensaciones visuales<sup>17</sup>. Desde el punto de vista físico, la luz se relaciona con la porción del espectro electromagnético que se encuentra comprendido entre las longitudes de onda de 380 a 780 nanómetros (estos límites pueden variar de acuerdo a cada individuo).

La energía radiante de longitudes de onda apropiadas, hacen visible cualquier cosa desde la cual se emite o refleja en suficiente cantidad para activar los receptores en el ojo humano; la energía radiante puede evaluarse en diferentes formas siendo las dos más importantes:

- Flujo radiante: Es la relación del flujo al tiempo de cualquier parte de la porción espectral de la energía radiante, medido en J/s o en W.
- Flujo luminoso: La relación del flujo al tiempo de la parte luminosa de la energía radiante espectral medida en lúmenes.

Familia de fuentes luminosas eléctricas; fuentes de luz eléctrica:

*Fuentes de filamento:* Incandescentes, Tungsteno-halógeno y Fotografía

*Fuentes de descarga:* Xenón, Fluorescentes, HID (Mercurio, Metalarc, Sodio de alta presión, Sodio de baja presión), Arco de carbón y Arco de flama

---

<sup>17</sup> Principios de Iluminación, Holophane, 2008, consultado el 4 de enero de 2010.

Tipos de iluminación:

- Iluminación decorativa: En estas zonas impera el sentido estético y no el de rendimiento lumínico.
- Iluminación en zonas de trabajo: Se requiere el aspecto de confort visual, así como el estético.
- Iluminación en zonas con atmósferas sucias, corrosivas o en contacto con el exterior: En estas dependencias impera el sentido de seguridad, además del de rendimiento lumínico.

**Figura 1.33: Sistemas de iluminación**



**Fuente: Ejemplo de Iluminación Vial y bodega en Querétaro.**

Para cualquier diseño de un sistema de alumbrado, se debe considerar la clasificación del área en donde se instalará, las luminarias que se utilicen deben cumplir con los lineamientos necesarios y presenten respecto a lugares peligrosos, que se utilicen en áreas diferentes a las clasificadas y presenten características como humedad y corrosión.

Los puntos de interés son:

- Alumbrado general
- Alumbrado general localizado
- Alumbrado localizado
- Alumbrado de exteriores
- Cálculo de alumbrado : Alumbrado en interiores y exteriores
- Niveles de iluminación
- Características del sistema de alumbrado
- Receptáculos para equipos portátiles dentro de las áreas de proceso, para el interior de edificios.

### **1.3.9 Sistemas de monitoreo y medición**

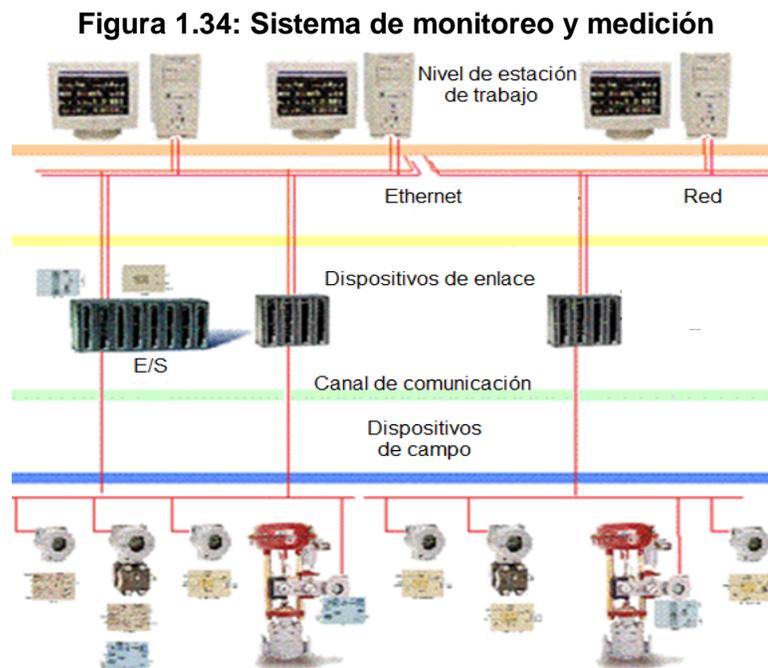
Los instrumentos de medición y control manual o automático permiten determinar y ajustar el comportamiento de cualquier equipo, ahora en la actualidad se basan en programas determinados para poder realizar los cálculos y de una manera rápida poder tener registros del equipo a monitorear.

## Redes Inteligentes

Una Red Eléctrica Inteligente (REI) o Smart Grid, como se conoce en el ámbito internacional, se refiere a una visión estratégica tecnológica para la modernización de los sistemas de suministro de energía eléctrica, incluyendo el monitoreo, protección y optimización automática (como el programa Scada o Edsa) de la operación de los elementos interconectados; desde los centros de generación, generación distribuida, líneas de transmisión y sistemas de distribución, a los usuarios industriales, sistemas de almacenamiento de energía y consumidores finales y sus sistemas de calefacción, vehículos eléctricos, electrodomésticos y otros dispositivos del hogar.

A diferencia de las señales empleadas para protecciones, con las cuales hay que tomar acciones inmediatas para evitar daños en el equipo, la información en los sistemas de monitoreo tiene como función principal el diagnosticar fallas.

El monitoreo permite programar el mantenimiento (mantenimiento predictivo) en función de los resultados del análisis de las variables monitoreadas; en general se puede realizar la administración de activos



Fuente: [www.colombia.acambiode.com](http://www.colombia.acambiode.com)

Beneficios de los sistemas de monitoreo:

- Continuidad en el servicio
- Detección de anomalías
- Permite tomar acciones de mantenimiento preventivo
- Administración de activos
- Incrementa la utilización de la infraestructura
- Diagnóstico forense de fallas
- Análisis probabilístico de riesgo de contingencias

Sistema eléctrico y el monitoreo de equipo:

- Generación
- Equipo de subestaciones de transmisión
- Red de Líneas de transmisión
- Equipo de subestaciones de distribución
- Red de Distribución
- Alimentación industrial y domestica

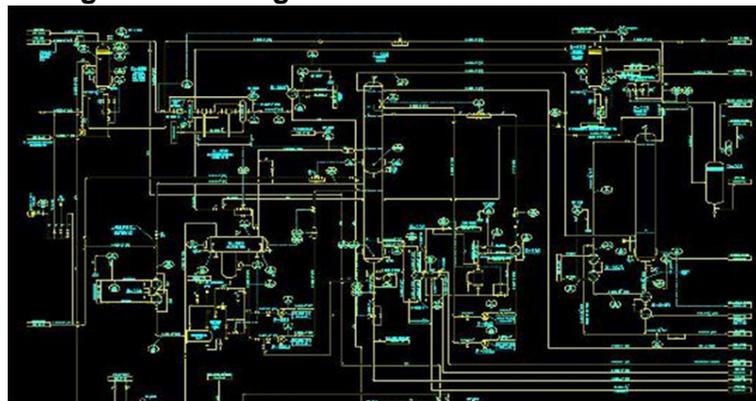
### 1.3.10 Equipos y diagramas DTI

Los símbolos y diagramas son usados en el control de procesos para indicar la aplicación en el proceso, el tipo de señales empleadas, la secuencia de componentes interconectadas y de alguna manera, la instrumentación empleada. La Sociedad de Instrumentistas de América (ISA por sus siglas en ingles Instruments Society of America) publica normas para símbolos, términos y diagramas que son generalmente reconocidos en la industria.

Para mostrar un proceso y el control de procesos particularmente, se utilizan cuatro tipos de diagramas. P & Id o DTI (Diagrama de Tuberías e Instrumentación) o DPI (Diagrama de Proceso e Instrumentos). El P & ID (por sus siglas en inglés Diagrama de Tubería e Instrumentación) es la base de cualquier diseño de procesos.

Las líneas en el DTI representan, la tubería que se requiere para operar el proceso. Así, el DTI es un "diagrama de rutas" de los caminos tomados por los diferentes fluidos del proceso, las dimensiones de bombas y los tubos están contenidos en el DTI.; un DTI bien detallado, simplifica las decisiones sobre cómo controlar o instrumentar el proceso, no todos los instrumentos mostrados en el P & ID trabajan como instrumentos de control.

**Figura 1.35: Diagrama DTI realizado en autocad.**



Fuente: [www.pipeisometric.com](http://www.pipeisometric.com)

Los indicadores de presión, temperatura o registradores, son meramente indicadores, todos aparecen en el DTI en su posición apropiada y los instrumentos incluidos en el DTI son aquellos que son básicos en el proceso y reflejan el conocimiento del diseñador en la operación.

El DTI muestra el proceso entero y proporciona una guía completa para las operaciones del proceso y los instrumentos involucrados, también permite al técnico, instrumentista o mecánico, visualizar todos los sistemas de control; así, a pesar de su tamaño, el DTI es una herramienta valiosa.

Se utilizan cuatro tipos de dibujos en sistemas de control de procesos:

- El DTI (tubería e instrumentación) como la base de cualquier diseño de procesos.
- Localización de esquemas para indicar la posición de los instrumentos y equipos instalados
- Esquemas de instalación para proporcionar detalles de partes y posiciones de los instrumentos
- Diagramas de lazos de control para calibración y localización de fallas.

## 1.4 Instalaciones térmicas de uso en hoteles

### 1.4.1 Generación de vapor y agua caliente

Primero se determina la carga térmica necesaria para satisfacer la demanda de agua caliente que tendrá el hotel, es decir se estima el caudal volumétrico de agua caliente que se necesita y con este resultado se procede a diseñar el sistema para calentar el agua.

**Figura 1.36: Principales centros de consumo de agua caliente**



Fuente: [www.paginasprodigy.com](http://www.paginasprodigy.com)

Con los valores de los caudales volumétricos de agua y la temperatura de esta, se estima la cantidad de vapor que necesita el sistema, de ahí se seleccionan los calentadores de agua, calderas y demás equipos necesarios para calentar el agua, dicho sistema suministrará el agua caliente tanto para las habitaciones como para los servicios generales.

Para determinar la capacidad de los calentadores de agua y de las calderas, primero se debe estimar la cantidad de agua caliente que se debe suministrar a las habitaciones y a los servicios generales, considerando que la primera debe estar a 60 °C y la segunda a 65 °C.

Un ejemplo para poder seleccionar los calentadores de agua, se determina la demanda de agua caliente para las habitaciones por medio de la ecuación 1:

$$Q_T = Q_h \times N \times FD \dots \dots \dots Ec. 1$$

Donde:

$Q_h$ = Consumo de cada habitación

$N$ = N° de habitaciones

$FD$ = Factor de demanda

Para seleccionar las calderas que se necesitarán para alimentar de vapor a los calentadores de agua se debe calcular la potencia que éstas deben suministrar para lo cual se emplea la siguiente ecuación 2:

$$W = P \times Q_{\text{agua}} \times C_p \times (T_{\text{salida}} - T_{\text{entrada}}) \dots \dots \dots \text{Ec. 2}$$

Donde:

P= densidad

Q<sub>p</sub>= calor específico del agua

T<sub>SALIDA</sub> = Temperatura de salida

T<sub>ENTRADA</sub> = Temperatura de entrada

### 1.4.2 Distribución y retorno de condensados

Se emplea un sistema de agua para alimentación que está dividido en dos subsistemas; el primero que alimenta a las calderas y lleva el agua desde el tanque de almacenamiento hacia las calderas; el segundo que repone las pérdidas y lleva el agua desde la cisterna hasta el tanque de almacenamiento.

Lo primero a determinar en el diseño del sistema de agua de alimentación es la capacidad de evaporación de las calderas; en el diseño de las tuberías se debe deben considerar algunos parámetros como:

*Tipo de operación:* Se refiere al régimen de trabajo, es decir si el sistema operará de forma continua o intermitente, dado que las calderas pueden ser de baja capacidad, el sistema trabajará de forma intermitente tanto para la alimentación de las calderas como para la reposición, para el caso del sistema de reposición, este tendrá una temperatura a la succión de 21 °C, ya que toma el agua de las cisternas y se encuentran a temperatura ambiente; para el caso del sistema de agua de alimentación de las calderas, este podría tener una temperatura a la succión de 90 °C, ya que toma el agua del tanque de retorno de condensados.

La capacidad se refiere al caudal que el sistema debe transportar y sirve para seleccionar las tuberías y las bombas, para el caso del sistema de agua de reposición se puede considerar tuberías que tengan menores pérdidas por fricción.

Para las tuberías de vapor y retorno de condensados es importante la selección del diámetro de los mismos, también se selecciona las trampas de vapor necesarias para impedir el flujo de vapor hacia el sistema de retorno de condensado.

### 1.4.3 Instalaciones de aire acondicionado

La comodidad de las personas bajo el punto de vista del aire acondicionado, depende de cuatro factores primordiales, que son:

- Temperatura del aire
- Humedad del aire
- Movimiento del aire
- Pureza del aire

**Figura 1.37: Sistema Chiller**



**Fuente: [www.waterchillersystems.com](http://www.waterchillersystems.com)**

El comportamiento fisiológico del cuerpo humano demanda que la cantidad de calor interno producido por el cuerpo, sea igual a la cantidad de calor externo perdido, también tiene un sistema de control de temperatura para regular sus pérdidas que ocurren por convección, radiación y evaporación; la proporción relativa de cada una depende de la cantidad de calor generado por el cuerpo, que a su vez depende de la actividad, también depende de la ropa, temperatura y condiciones del aire.

La posible conveniencia de la utilización del aire acondicionado, debe considerarse cuidadosamente, frente a sus hipotéticas ventajas de confort, sus principales inconvenientes respecto al medio y al usuario decidirán su instalación e incluirán todas las medidas posibles para paliar las consecuencias desfavorables que origine su uso. Desde la perspectiva medioambiental, entre los efectos negativos más importantes, son: elevados consumos de energía eléctrica y agua potable; emisión de gases que afectan la capa de ozono

A estos inconvenientes hay que añadir otras consecuencias graves para la salud; un aire acondicionado necesita para su funcionamiento normal un mínimo de 30 a 35 m<sup>2</sup> de aire por hora y por persona, si este intercambio es insuficiente probablemente se provocarán reacciones alérgicas, irritaciones oculares, náuseas y otros trastornos sobre el organismo humano.

Las posibles previsiones que se pueden dar es el cambio mensual de los filtros del aire acondicionado, ya que en estos y conductos poco ventilados y sin regulación de la humedad se acumulan todo tipo de impurezas y bacterias patógenas; por otra parte los tubos de emisión de aire se sitúan a un mínimo de tres metros de altura para evitar los efectos nocivos originados por el polvo cargado de microorganismos,

#### **1.4.4 Instalaciones de refrigeración**

Refrigeración es la rama de la ciencia que trata del proceso de reducir y mantener más baja que su alrededor la temperatura de un espacio dado o de un producto; ya que el calor absorbido se transfiere a otro cuerpo, es evidente que el proceso de refrigeración es opuesto al de calefacción.

La temperatura es un factor importante en el mantenimiento de la calidad de los alimentos, así como del confort de personas y animales; el descenso de la temperatura en los alimentos hace que disminuya la velocidad de las reacciones que producen su deterioro, en un principio se lograban estas bajas temperaturas mediante el uso del hielo.

**Figura 1.38: Sistemas de refrigeración**



Fuente: [www.refriconsa.com.mx](http://www.refriconsa.com.mx)

En cualquier proceso de refrigeración, el cuerpo empleado como absorbente de calor se llama agente de refrigeración o agente refrigerante; los procesos de refrigeración, se clasifican en sensibles y latentes. El proceso es sensible, cuando la temperatura del refrigerante varía al absorber el calor y es latente cuando la temperatura del refrigerante, al absorber el calor, permanece constante y causa cambio de estado; en los dos procesos, la temperatura del agente de refrigeración es menor que la temperatura del espacio por refrigerar.

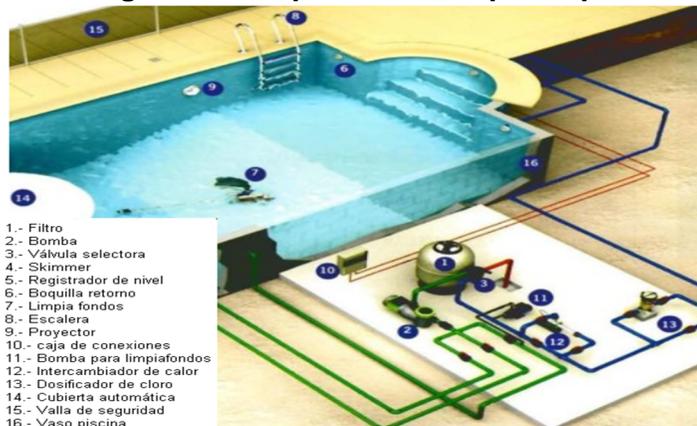
#### 1.4.5 Instalaciones de albercas y servicios

Existe una gran variedad de configuraciones, dependiendo no solo de su tamaño, sino también de su uso, su profundidad y la temperatura del agua; es necesario tomar en cuenta que las albercas pueden estar destinadas para diferentes usos y que pueden ser vistas de diferente manera, dependiendo de la actividad que la persona piensa realizar en ellas.

Es importante señalar que una de las recomendaciones más comunes en lo que se refiere a la construcción de albercas, es que no se debe diseñar una alberca para tener un solo uso, además de siempre considerar las siguientes características:

- Profundidad
- Temperatura del agua
- Escalones y barandales

**Figura 1.39: Tipo de alberca prototipo.**



Fuente: [www.grupoalmont.com.mx](http://www.grupoalmont.com.mx)

Un hotel es un edificio planificado y acondicionado para otorgar servicios de alojamiento a las personas temporalmente y que permite a los visitantes sus desplazamientos, también proveen a los huéspedes de servicios adicionales como restaurantes, piscinas, spa, comercios y guarderías; algunos tienen servicios de conferencias y animan a grupos a organizar convenciones y reuniones en su establecimiento.

## **Conclusiones**

En este capítulo se mostró un amplio panorama respecto a los sistemas eléctricos de potencia, desde su generación, transformación, distribución y transmisión, así como los diferentes conceptos que se manejan para cualquier tipo de proyecto, como es la aplicación de normas mexicanas, internacionales, etc., de este tipo de lineamientos se derivan diferentes conceptos; que para cuestiones de esta tesis abarcan solamente lo fundamental.

Como parte más específica se desglosó el tema de las instalaciones eléctricas, también con sus vertientes como lo es la acometida, los diferentes tipos de subestaciones, protecciones, sistemas de tierras, etc.

Y más enfocado a la actualidad, se dio un bosquejo de la energía en estos tiempos, la demanda de la misma y las posibles alternativas de generación eléctrica, mediante energías renovables o mejor conocidos como los biocombustibles y la posible sustentabilidad que se puede generar a corto plazo.

Por último, se dio una descripción de lo que se puede encontrar en un hotel, los diferentes servicios que se brindan, así como las diferentes instalaciones y aspectos que se deben de tomar en cuenta para la realización de un proyecto energético en el hotel.

En este caso particular, en el tema de instalaciones eléctricas y térmicas, se muestra la funcionalidad del hotel y las consideraciones que se deben de tomar en cuenta para poder plantear y desarrollar el proyecto.

## Capítulo 2 Caracterización energética de la instalación

### Introducción

El proyecto planea en base a un hipotético hotel en el municipio de Tequisquiapan, Querétaro; esta entidad ha estado en constante crecimiento, social, económico y cultural; su cercanía con la Ciudad de México motiva a que las personas lo observen como un atractivo turístico, ideal para el descanso y diversión en general.

Tequisquiapan<sup>18</sup> es una ciudad mexicana, situada en el Estado de Querétaro, ubicada a 20 km al norte de San Juan del Río y a 60 km al oriente de la ciudad de Santiago de Querétaro, capital del Estado; fue fundada en 1551 y se encuentra en una zona rica en aguas termales, destaca por su arquitectura colonial, especialmente el Templo Parroquial, centro de descanso y de retiro, cuenta con fraccionamientos residenciales exclusivos y campos de golf.

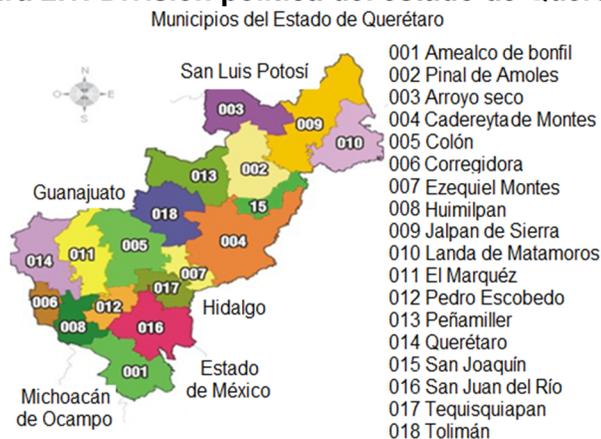
En el hotel se pretende solventar sus consumos eléctrico y térmico mediante generación alternativa no convencional, por lo que se pretende realizar dicho proyecto argumentando las posibles soluciones y distribuciones arquitectónicas, así como las posibles alternativas de combustible que se puedan generar en la zona.

### 2.1 Descripción de las instalaciones

#### 2.1.1 Geográficas

La construcción del hotel se ubica en el municipio de Tequisquiapan, ubicado en la figura 2.1 División política del Estado de Querétaro en el estado de Querétaro, debido al gran auge que ha tenido el municipio, con sus atractivos turísticos y su cercanía con el Distrito Federal se ha tenido la idea de brindar una nueva opción con las comodidades necesarias para los visitantes.

**Figura 2.1: División política del estado de Querétaro**



Fuente: [www.google.maps.com.mx](http://www.google.maps.com.mx)

<sup>18</sup> [www.qro.gob.mx](http://www.qro.gob.mx), 2009, consultado el 15 de enero de 2010.



**Tabla 2.1: Materiales para construcción**

<b>MATERIALES ECOLÓGICOS</b>	<b>MATERIALES NO ECOLÓGICOS</b>
Piedra natural	PVC
Ladrillo de arcilla	Aluminio
Otros productos cerámicos	Hormigón
Adobe	Madera tropical
Maderas autóctonas	Espumas sólidas
Planchas de yeso	
Linóleum	Yeso industrial
Pinturas de cal sílice	
Láminas	Aislamientos sintéticos
Esmalte de resina natural	

**Fuente: Protección medioambiental, 2010.**

### 2.1.3 Servicios

El posible hotel se proyecta para que cuente con servicios de habitación, spa, sauna, sala de conferencias, restaurant, tienda de regalos, elevadores, lavandería, cocina, gimnasio, alberca; las habitaciones están comprendidas de tres tipos:

*Tipo A:* 20 Habitaciones regulares de medidas, 6 m largo x 4 m ancho x 3 m altura, tendrá su propia unidad de aire acondicionado, baño privado, sillón pequeño y mesa lateral

*Tipo B:* 8 Habitaciones regulares con medidas, 7 m largo x 4 m ancho x 3 m altura, tendrá su propia unidad de aire acondicionado, baño privado con tina, una pequeña sala y un minibar.

*Tipo C:* 2 Habitaciones de lujo (pent-house), medidas, 8 m largo x 4 m ancho x 3 m altura, tendrá su propia unidad de aire acondicionado, baño privado con jacuzzi, una pequeña sala y un minibar

*Equipo de habitaciones:*

- Unidad de aire acondicionado
- Televisión
- Radio AM y FM.
- Teléfono
- Mini bar

*Mobiliario de habitaciones:*

- 1 cama matrimonial
- Tocado con espejo y silla
- Sala pequeña
- Closet

*Baño de habitaciones:*

- Baño con agua caliente
- Tina o jacuzzi dependiendo del tipo de habitación
- Lavamanos de mesa con espejo
- Sanitario
- Azulejo en paredes y piso antideslizante

*Restaurant:* El restaurant estará ubicado al lado de la recepción dándole el frente a la piscina, su dimensión será de 225 metros cuadrados (15 x 15 m), con altura de 4 m, equipado para 60 personas cómodamente sentadas en 15 mesas, se contará con dos ambientes diferentes, uno con aire acondicionado y otro con temperatura ambiente.

*Mobiliario y equipo del restaurant:*

- Unidad de aire acondicionado
- 15 mesas de madera con 4 sillas cada una
- 6 ventiladores con iluminación
- Carretillas de servicio

*Baños del restaurant:*

- 2 sanitarios, uno para hombre y otro para mujeres
- 2 mingitorios y 4 escusados en el baño de hombres
- 6 escusados en el baño de mujeres
- 2 lavamanos en cada baño
- 2 secadoras de mano
- Espejo grande en cada baño

*Equipo de cocina del restaurant:*

- Unidad de aire acondicionado
- Estufa industrial y hornos grandes
- Freidora eléctrica
- Congeladores
- Lavatrastos industrial
- Procesadora de alimentos
- Batidora industrial y auxiliar
- Licuadoras
- Extractores de olor y Cuarto frío para víveres
- Mesas de acero inoxidable para usos múltiples
- Cuarto especial para basura con aire acondicionado
- Almacén

*Salón de usos múltiples:* El salón de usos múltiples tiene de dimensiones 300 metros cuadrados (20 x 15 m) con una altura de 4 m, dicho salón podrá ser utilizado para realizar convenciones, fiestas, reuniones de mercadeo y otros.

*Mobiliario y equipo:*

- Unidad de aire acondicionado
- 15 mesas de madera fina con 4 sillas cada una
- 6 ventiladores con iluminación
- Cafetera industrial
- Retroproyector y pantalla
- Pódium
- Equipo de sonido

*Baños del salón:*

- 2 sanitarios, uno para hombres y otro para mujeres
- 2 mingitorios y 4 escusados en el baño de hombres
- 6 escusados en el baño de mujeres

- Dispensadores de papel
- Secadora de manos en cada baño
- Espejo grande en cada baño
- Dispensador de basura en cada baño

*Estacionamiento:* Dentro de las instalaciones habrá un estacionamiento para 30 automóviles, con iluminación y delineamientos.

*Lavandería:* La lavandería estará ubicada en la parte inferior del hotel y medirá 50 metros cuadrados (10 x 5 m), se contará con lavadora industrial, secadora industrial, mesa auxiliar y anaqueles.

*Bodega de mantenimiento:* Este lugar se ubica al lado de la lavandería y tendrá 50 metros cuadrados (10 x 5 m), se almacenará el equipo para mantenimiento de jardines, piscina y herramienta.

#### **2.1.4 Recreación**

##### *Jardines y exteriores*

Los jardines del hotel estarán alrededor de las habitaciones y de la piscina, estarán cubiertos de grama e integrados básicamente de palmeras, árboles y vegetación de la zona, habrá jardineras constituidas por diferentes clases de plantas.

El acondicionamiento de las áreas verdes es parte fundamental, se plantea la posibilidad de cubrir con un 70 % la zona de construcción; con plantas típicas de la localidad, que florezcan con el menor riego posible y se integren a un paisaje local. Se contempla la reducción de zonas asfaltadas recurriendo a otros tipos de firmes basados en arcilla, losetas, etc., que proporcionan una mayor integración con el medio natural.

También se construirán redes para peatones y ciclistas para proporcionar mayores posibilidades de paseo y facilita el acceso, se dispondrá de una red de transporte público que abarcara con los principales atractivos turístico de la zona y lugares de entretenimiento.

La alberca consta de 120 metros cuadrados (15 x 8 m) y 2.20 m de profundidad, en el lugar se tienen contempladas 20 sillas reclinables de plástico, 10 sombrillas de tela, 5 mesas redondas de plástico con 4 sillas cada una; en un costado se encontrará un bar de 8 m de diámetro, con barra de madera, 8 bancos altos exteriores.

#### **2.1.5 Instalaciones eléctricas**

Es obligado recordar la negativa repercusión que la producción de energía eléctrica tiene sobre el medio ambiente; las centrales nucleares, térmicas e hidroeléctricas producen numerosos y diversos impactos por emisiones radiactivas, lluvia ácida, efecto invernadero, alteraciones sobre el ecosistema, etc., consecuentemente, cualquier ahorro de energía eléctrica será beneficioso para el medio y proporcionará una reducción en los costos de funcionamiento del hotel.

Además de las medidas que la administración pueda tomar para la reducción del consumo eléctrico, a través del diseño adecuado, las condiciones del edificio o de sus instalaciones, es posible el ahorro mediante:

- Una orientación adecuada

- Aprovechamiento de la luz natural
- Sistemas de captación de energías alternativas
- Aislamiento para evitar ruidos

*Iluminación:* El alumbrado natural proporciona un mayor nivel de bienestar y relajación, además de reducir el consumo de energía eléctrica; evitándose los diseños definidos exclusivamente con criterios estéticos, pues requieren mayor atención los aspectos relacionados con la salud y el consumo; al emplear la iluminación eléctrica lo más conveniente es graduar su intensidad; no solo perjudica la luz escasa, sino también su exceso, entorno como baños, cocinas y huecos de escaleras deben estar más iluminados, en ambientes de trabajo se evitarán los contrastes de luminosidad que provoquen trastornos similares a los que originan los reflejos de luz.

*Calefacción:* El consumo de calefacción constituye un porcentaje amplio y de él se pierde casi la mitad hacia el exterior mediante techos, tabiques y ventanas, se puede ver que es un despilfarro energético que se evita con buen aislamiento térmico eficaz.

*Consumo energético de electrodomésticos:* Algunas medidas adoptadas para la instalación de calentadores, frigoríficos, lavadoras y otros elementos aportan un notable ahorro energético de una forma sencilla y generalmente poco costosa.

*Calentadores:* Se ha comprobado que el primordial desaprovechamiento de energía consumida corresponde a una instalación deficiente y al uso inapropiado del calentador. Es indispensable un mantenimiento cuidadoso, procurando eliminar el óxido que se produce periódicamente y que causan un aumento considerable del consumo de energía; los sistemas de regulación de la temperatura facilitan un mejor aprovechamiento energético y posibilitan un mayor control.

*Frigoríficos:* Su consumo, casi tan elevado como el de los calentadores, puede reducirse considerablemente con medidas de instalación, explotación y mantenimiento coherentes,

*Lavadoras y lavavajillas:* Se seleccionarán los modelos más ecológicos del mercado, se debe evitar su uso a plena carga

*Aire acondicionado:* La posible conveniencia del uso del aire acondicionado debe considerarse cuidadosamente, frente a sus ventajas de confort, sus principales inconvenientes respecto al medio y al usuario permitirán su instalación e incluirán todas las medidas posibles para paliar las consecuencias desfavorables que originen su uso.

### **2.1.6 Instalaciones térmicas**

*Generación de agua caliente sanitaria:* La generación de agua caliente sanitaria es el proceso por el cual el agua se calienta para ser utilizada en baños, cocina y lavaderos, la generación de agua caliente se logra por medio de artefactos individuales o centrales térmicas, que en algunos casos es la misma que provee calefacción a la edificación.

*Climatización:* Es el proceso por el cual se da a un espacio cerrado las condiciones de temperatura, humedad relativa, pureza del aire y a veces presión, necesarias para el bienestar de las personas, conservación de productos, aplicaciones industriales y comerciales, la climatización comprende las áreas de calefacción, ventilación y aire acondicionado.

La climatización es un factor determinante en el bienestar de los usuarios de una edificación y está directamente relacionada con el rendimiento de las personas en su trabajo; esta

especialidad genera un consumo energético entre el 40 y 60 % del total del consumo de energía en un edificio

Las instalaciones de climatización y generación de agua caliente, su objetivo primordial es la obtención de un ambiente interior aceptable para el ser humano en términos de confort y salubridad, como en la tabla 2.2.

**Tabla 2.2: Parámetros de confort**

PARÁMETROS DE CONFORT	
VERANO	INVIERNO
Temperatura interior 20 °C	Temperatura interior 24 °C
Humedad relativa 50 %	Humedad relativa 50 %

**Fuente: Protección medioambiental, 2010.**

El proyecto tiende a optimizar la eficiencia del sistema desde el punto de vista del consumo de energía, el consumo de energía convencional depende de: la eficiencia de los equipos utilizados, la utilización de energías residuales, la utilización de energías procedentes de fuentes gratuitas, del empleo de plantas de cogeneración, sistemas de control centralizado y del sistema de enfriamiento. Existen varios sistemas de generación de agua caliente, la utilización de cada uno de ellos está definida por las condiciones de uso y volumen de agua requerida; estos se pueden agrupar en sistemas de generación individual o centralizada.

*Sistemas de generación individual:* Existen sistemas individuales de baja potencia para la generación de agua caliente, estos sistemas están formados por uno o más artefactos, que en general pueden abastecer a una vivienda, un local comercial o una oficina individual.

*Calentador:* Es un artefacto usado para la generación instantánea de agua caliente destinada, generalmente, para usos sanitarios, los combustibles usados son: gas licuado, gas doméstico y gas natural.

*Generación centralizada:* Esta destinada a satisfacer grandes consumos, este sistema puede abastecer en su totalidad grandes edificios de alta demanda de agua caliente; la generación se hace desde un solo punto y se abastece a los centros de consumo.

Este sistema está formado por una caldera, un acumulador, un intercambiador de calor, bombas de recirculación, sistemas de seguridad y sistemas de control de temperatura, las fuentes de energía utilizadas en este tipo de sistemas son: gas licuado, gas natural, petróleo parafina, carbón, leña, energía eléctrica y energía solar.

## **2.2 Caracterización de la demanda energética**

### **2.2.1 Carga y consumo eléctrico**

*Cálculos de la carga.*

El total de lámparas a utilizar en todo el complejo es de: 260 pzas., se utilizarán interruptores de 15 (A), de manera convencional se utiliza cable N° 12 AWG, con capacidad de 20 (A) y un factor de demanda de 0.8 (80 %); considerando el factor de demanda y empleando los interruptores de 15 (A) se tiene que:

$$\text{El } 80 \% \text{ de } 15 \text{ (A)} = (0.8)(15 \text{ (A)}) = 12 \text{ (A)}$$

Por lo que se utilizan 12 lámparas por circuito, quedando 12 lámparas/circuito; para obtener la cantidad de lámparas a emplear por fase se tiene la relación:

$$\frac{\# \text{ de lámparas}}{3 \text{ fases}} \dots\dots\dots Ec. 2.1$$

Sustituyendo se tiene:

$$\left( \frac{260 \text{ lámparas}}{3 \text{ fases}} \right) = 86.6 \approx 87 \frac{\text{lámparas}}{\text{fase}}$$

Para contemplar cuantos circuitos por fase se utiliza la siguiente relación:

$$\left( \frac{\# \text{ lámparas}}{\text{fase}} / \frac{\# \text{ lámparas}}{\text{circuito}} \right) \dots\dots\dots Ec. 2.2$$

Sustituyendo se tiene:

$$\left( \frac{87 \text{ lámparas}}{\text{fase}} / \frac{12 \text{ lámparas}}{\text{circuito}} \right) = 7.2 \approx 8 \frac{\text{circuitos}}{\text{fase}}$$

Considerando las tres fases se obtiene:

$$\left( 8 \frac{\text{circuitos}}{\text{fase}} \right) (3 \text{ fases}) = 24 \text{ circuitos de lámparas}$$

El total de contactos instalados en el inmueble es de: 180, se utilizarán interruptores de 20 (A), de manera convencional se utiliza cable N°10 AWG con capacidad de 30 (A), el consumo por contacto es de 1.5 (A).

Se tiene la capacidad de 30 (A) y se considera 1.5 (A)/contacto, siendo la relación:

$$\left( \frac{\text{capacidad del interruptor (A)}}{\frac{\text{consumo (A)}}{\text{contacto}}} \right) \dots\dots\dots Ec. 2.3$$

Sustituyendo se tiene:

$$\left( \frac{30 \text{ (A)}}{1.5 \frac{\text{(A)}}{\text{contacto}}} \right) = 13.3 \approx 13 \frac{\text{contactos}}{\text{circuito}}$$

Considerando los 180 contactos divididos entre las 3 fases se obtiene:

$$\left( \frac{180 \text{ contactos}}{3 \text{ fases}} \right) = 60 \frac{\text{contactos}}{\text{fase}}$$

Para obtener los circuitos contemplados por fase se divide de la siguiente manera:

$$\frac{60 \frac{\text{contactos}}{\text{fase}}}{13 \frac{\text{contactos}}{\text{circuito}}} = 4.6 \approx 5 \frac{\text{circuitos}}{\text{fase}}$$

Teniendo los circuitos por fase, se multiplican por las tres fases:

$$\left(5 \frac{\text{circuitos}}{\text{fase}}\right) (3 \text{ fases}) = 15 \text{ circuitos de contactos}$$

En resumen:

**Tabla 2.3: Consumo eléctrico**

Descripción	Watts [W]	cantidad	Consumo General
Lámparas	100	260	26,000 [W]
Contactos	180	180	32,400 [W]
Cuarto de máquinas	8,000	3	24,000 [W]
Reservas	2,400		2,400 [W]
<b>TOTAL</b>			<b>82,400 [W]</b>

**Fuente: Elaboración propia**

*Distribución de circuitos:*

10 circuitos 1200 W interruptor 10 x 15 [A]  
 4 circuitos 1100 W interruptor 4 x 15 [A]  
 7 circuitos 1000 W interruptor 7 x 15 [A]  
 2 circuitos 900 W interruptor 2 x 15 [A]  
 1 circuito 800 W interruptor 1 x 15 [A]  
 8 circuitos 2340 W interruptor 8 x 20 [A]  
 4 circuitos 1980 W interruptor 4 x 20 [A]  
 2 circuitos 1800 W interruptor 2 x 20 [A]  
 3 circuitos 8000 W interruptor 3 x 20 [A]

*Balance de fases*

Se balancea la carga de los circuitos de la siguiente manera; en resumen se tiene que:

**Tabla 2.4: Cargas por fase**

	FASE A (W)	FASE B (W)	FASE C (W)
	1200	1200	1200
	1200	1200	1200
	1200	1200	1200
	1200	1100	1100
	1000	1100	1100
	1000	1000	1000
	1000	1000	1000
	900	900	800
	2340	2340	2340
	2340	2340	2340
	2340	2340	2160
	1980	1980	1980
	1980	1800	1800
	8000	8000	8000
<b>Total por fase</b>	<b>27680</b>	<b>27500</b>	<b>27220</b>

**Fuente: Elaboración propia**

**Total de la carga: 82400 W**

*El desbalance entre las tres cargas es:*

$$\frac{W1 - W2}{W1} \times 100 \dots\dots\dots Ec. 2.4$$

Donde W1: Watts de la fase más cargada  
W2: Watts de la fase menos cargada

Sustituyendo en la ecuación anterior se obtiene:

$$\frac{27680 (W) - 27220 (W)}{27680 (W)} \times 100 = 1.16 \%$$

Este resultado está dentro de los límites permitido respecto al desbalance de cargas

*Calculo de la corriente para 3 fases 4 hilos.*

$$I = \frac{W}{3VV_f F.P.} \dots\dots\dots Ec. 2.5$$

Donde:  
W: Potencia en Watt (W)  
V: Voltaje entre fase (V)  
F.P.: Factor de potencia

Considerando los valores obtenidos anteriormente se tiene:

W = 82400 [W]  
V = 220 [V]  
F.P. = 0.9, sustituyendo en la ecuación anterior se tiene:

$$I = \frac{82400 (W)}{3(220 (V))(0.9)} = 138.72 (A)$$

La potencia instalada en Watts es:

$$P_{activa} = \sqrt{3}VI F.P. \dots\dots\dots Ec. 2.6$$

Donde:  
V: voltaje entre fases (V)  
I: corriente (A)  
F.P.: factor de potencia

Considerando los valores obtenidos anteriormente

V = 220 (V)  
I = 138.728 (A)  
F.P.= 0.9

Sustituyendo en la ecuación anterior se obtiene:

$$P_{activa} = \sqrt{3}(220(V))(138.728(A)(0.9) = 47,573 W \approx 48 KW$$

La potencia de consumo en VA es:

$$P_{aparente} = \sqrt{3}VI \dots\dots\dots Ec. 2.7$$

Donde:

V: Voltaje entre fases (V)

I: Corriente (A)

Considerando los valores obtenidos se tiene:

$$V = 220 (V)$$

$$I = 138.72 (A)$$

Sustituyendo en la ecuación anterior se obtiene:

$$P_{aparente} = \sqrt{3}(220(V))(138.72 (A)) = 52,859 VA \approx 53 KVA$$

## 2.2.2 Demanda y consumo térmico

### *Cálculos de la instalación*

Como parte de la eficiencia energética en edificios este proyecto se ha centrado en el análisis de dos diferentes opciones de instalación térmica para cubrir la demanda de aire acondicionado y agua caliente para un hotel situado en Tequisquiapan en el estado de Querétaro, México.

La primera opción de la instalación es la convencional donde el equipo principal es la caldera que producirá vapor para alimentar a los otros equipos principales que tendrán distintas funciones tanto para el aire acondicionado como para el agua caliente, en la cual el consumo de energía eléctrica es la que suministra la red convencional.

La segunda opción es la instalación de cogeneración en donde por medio de la generación de la demanda eléctrica con una primotor a evaluar y seleccionar para satisfacer las necesidades de la demanda térmica con el vapor rechazado por el primer proceso.

En general el análisis se ha dividido en partes:

- Antecedentes; describimos cuales son las características del edificio y cuales sus requerimientos térmicos.
- Levantamiento; se da la información de los equipos que serán necesarios para cubrir las necesidades térmicas. El levantamiento de los datos y requisitos para la instalación se estiman de los planos arquitectónicos, hidráulicos y eléctricos de la propuesta del proyecto.
- Dimensionamiento; se caracterizan las demandas térmicas y eléctricas del proyecto.
- Memoria de cálculo: Se muestran los cálculos realizados para satisfacer las necesidades térmicas.
- Dimensionamiento: Presentamos el inventario de lo que se requiere para la parte térmica

*Cálculo de las necesidades de agua caliente:*

**Tabla 2.5 Necesidades de agua caliente**

<b>Método para calcular las necesidades de agua caliente en función de los equipos instalados [lt/h] a 60 °C</b>					
<b>Descripción</b>	<b>Deptos.</b>	<b>Clubs</b>	<b>Gimnasios</b>	<b>Hoteles</b>	<b>Oficinas</b>
Lavabos privados	8	8	8	8	8
Lavabos públicos	15	23	30	30	23
Tinas de baño	76	76	115	76	0
Jacuzzi				150	
Lavaplatos	53	190-530	0	1190-760	0
Lavaplatos de pie	11.5	11.5	46	11.5	0
Fregaderos	38	76	0	115	76
Lavadoras de ropa	76	106	0	105	0
Fregaderos de pantry	19	38	38	38	38
Regaderas	115	530	855	285	105
Eliminador de sobras	76	76	0	105	76
Fregaderos circulares	0	0	0	76	76
Fregaderos semicirculares	0	0	0	38	38
Factor de demanda	0.3	0.31	0.4	0.25	0.3
Factor de almacenamiento	1.25	0.9	1	0.8	2

Fuente: Manual SELMEC y Hook Ups, Spirax Sarco.

Para las necesidades de aire acondicionado se tiene:

**Tabla 2.6 Necesidades de aire acondicionado**

<b>Ubicación</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Altura (m)</b>	<b>Volumen (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Aire acondicionado</b>
<b>Planta baja</b>				
Sótano		3	0	0
Recepción	64	3	192	4
Locales	30	3	270	5.625
<b>Total</b>			462	9.625
<b>Mezanine</b>				
Lobby y restaurant	225	3.25	731.25	15.234
Oficinas	30	3.25	97.5	2.031
<b>Total</b>			828.75	17.266
<b>1er nivel</b>				
Habitación tipo A	24	3.5	504	10.5
Suite Tipo B y C	32	3.5	448	9.333
Cuarto de servicio	16	3.5	56	1.167
<b>Total</b>			1008	21
<b>2do nivel</b>				
Habitaciones tipo A	24	3.5	504	10.5
Suite Tipo B y C	32	3.5	448	9.333
Cuarto de servicio	16	3.5	56	1.167
<b>Total</b>			1008	21
<b>3er nivel</b>				
Habitaciones tipo A	24	3.5	504	10.5
Suite Tipo B y C	32	3.5	448	9.333

<b>Cuarto de servicio</b>	16	3.5	56	1.167
<b>Total</b>			1008	21
<b>Total (ton. brutas)</b>		565	4314.75	89.891 (ton. brutas)

**Fuente: Elaboración propia**

Se multiplica por el factor de 0.66 de demanda  
 Total de aire bruto = 59.33 (ton netas)

**Tabla 2.7: Resultados**

<b>RESULTADOS</b>	
<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>
711933.75	Btu/hr
208.64	KW netos
0.7284	Entre el COP
Q = 286.43	KW de entrada al chiller
Q = 81.45	Ton. refrigeración

**Fuente: Elaboración propia**

Calculo de la carga térmica del Chiller:

$$Q = m (h_{ent} - h_{sal}) \dots\dots\dots Ec. 2.8$$

Donde:

$$Q = 785.69 \text{ KW}$$

$$h_{ent} = 2676.22$$

$$h_{sal} = 399.92$$

De la ecuación anterior se despeja m y sustituyendo los valores obtenidos anteriormente:

$$m = \frac{Q}{h_{ent} - h_{sal}} = \frac{785.69 \text{ KW}}{2676.22 - 399.92} = 375.173 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \text{ de vapor}$$

**Tabla 2.8: Resultados**

<b>Cálculo de la carga térmica del Chiller</b>	
<b>CANTIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>
0.13	kg/s de vapor
453.15	kg/h
28.96	CC
286.43	kW
205.55	lb/hr

**Fuente: Elaboración propia**

Para las necesidades de agua caliente se tiene:

**Tabla 2.9: Resultados de las necesidades de agua caliente**

<b>Equipos</b>	<b>Cantidad de equipos</b>	<b>Consumo Agua caliente [lt/hr]</b>	<b>Consumo total agua caliente [kg/hr]</b>
<b>Planta baja</b>			
<b>WC</b>	6	0	0
<b>Mingitorios</b>	3	0	0
<b>Lavabo</b>	4	0	0
<b>SUMA</b>			0
<b>Mezannine</b>			
<b>Fregaderos</b>	3	115	345
<b>Lavaderos de ropa</b>	5	105	525
<b>Otros equipos térmicos</b>	1	0	0
<b>WC</b>	3	0	0
<b>Mingitorios</b>	3	0	0
<b>SUMA</b>	0	0	870
<b>Primer nivel</b>			
<b>WC</b>	10	0	0
<b>Mingitorios</b>	4	0	0
<b>Lavabos</b>	10	8	80
<b>Tina</b>	4	76	304
<b>Regaderas</b>	10	285	2850
<b>Jacuzzi</b>	2	150	300
<b>SUMA</b>			3534
<b>Alberca</b>	1	264000	264000
<b>SUMA</b>			
<b>Segundo nivel</b>			
<b>WC</b>	10	0	0
<b>Mingitorios</b>	4	0	0
<b>Lavabos</b>	10	8	80
<b>Tina</b>	4	76	304
<b>Regaderas</b>	10	285	2850
<b>Jacuzzi</b>	2	150	300
<b>SUMA</b>			3534
<b>Tercer nivel</b>			
<b>WC</b>	10	0	0
<b>Mingitorios</b>	4	0	0
<b>Lavabos</b>	10	8	80
<b>Tina</b>	4	76	304
<b>Regaderas</b>	10	285	2850
<b>Jacuzzi</b>	2	150	300
<b>SUMA</b>			3534

Fuente: Elaboración propia

Considerando la siguiente ecuación:

$$AC_{demandada} = AC_{bruta} * \text{Factor de utilización} \dots \dots \dots \text{Ec. 2.9}$$

**Tabla 2.10: Consumo de agua caliente**

Consumo	
Nivel	lt/hr
Planta baja	0
Mezannine	870
Nivel 1	3534
Nivel 2	3534
Nivel 3	3534
<b>Total agua caliente</b>	<b>11472</b>

Fuente: Elaboración propia

Consideraciones

Factor de demanda= 0.25

Almacenamiento = 0.8

**Tabla 2.11: Resultados**

RESULTADOS	
Cantidad	Unidad
2868	(lt/hr) netos
0.8	(kg/s)
2294.4	(lt/hr)
2.29	(m <sub>3</sub> /hr)
606.12	(Gal/hr)

Fuente: Elaboración propia

*Cálculo de la carga térmica para agua caliente.*

Para el cálculo se tiene la siguiente ecuación:

$$Q_s = m C_p \Delta T \dots\dots\dots Ec. 2.10$$

Donde:

Q<sub>s</sub>:

m: masa específica (kg/s)

C<sub>p</sub>: Calor específico (kJ/kg°C)

ΔT: Diferencia de temperatura (°C)

Sustituyendo los siguientes valores en la ecuación anterior se obtiene:

$$m = 0.797 \text{ (kg/s)}$$

$$T_2 = 60 \text{ (°C)}$$

$$T_1 = 25 \text{ (°C)}$$

$$C_p = 4186 \text{ (kJ/kg°C)}$$

$$Q_s = \left(0.797 \frac{kg}{s}\right) \left(4186 \frac{kJ}{kg \text{ } ^\circ C}\right) (60(^\circ C) - 25(^\circ C)) = 116.76 \text{ KW}$$

Considerando la siguiente ecuación:

$$Q_s = m \eta (h_{100} - h_{70}) \dots\dots\dots Ec. 2.11$$

Tomando en cuenta los siguientes valores y despejando m de la ecuación 2.13 se obtiene:

$$\begin{aligned}
 P_{ENT} &= 0.1 \text{ (MPa)} \\
 P &= 0.031 \text{ (MPa)} \\
 T_{ENT} &= 100 \text{ (}^\circ\text{C)} \\
 T_{SAL} &= 70 \text{ (}^\circ\text{C)} \\
 h_{100} &= 2676.225 \text{ (kJ/kg)} \\
 h_{70} &= 292.963 \text{ (kJ/kg)} \\
 \eta &= 0.82
 \end{aligned}$$

$$m = \left( \frac{Q_s}{(h_{ent} - h_{sal})\eta} \right) \dots\dots\dots Ec. 2.12$$

El flujo es:

**Tabla 2.12: Resultados**

RESULTADOS		
Cantidad	Unidad	
m =	0.06	kg/s
m =	215	kg/hr
m =	13.33	CC
m =	135.9	KW
m =	97.5	lb/hr

**Fuente: Elaboración propia**

*Cálculo de la carga térmica para el agua de la alberca:*

$$Q_s = \frac{m C_p \Delta T}{t} \dots\dots\dots Ec. 2.13$$

$$\begin{aligned}
 m &= 264000.0 \text{ [Kg]} \\
 T_2 &= 28 \text{ (}^\circ\text{C)} \\
 T_1 &= 24 \text{ (}^\circ\text{C)} \\
 C_p &= 4.2 \text{ (kJ/kg }^\circ\text{C)} \\
 t &= 10800 \text{ [s]} \\
 m/t &= 24.4 \text{ [Kg/3hr]}
 \end{aligned}$$

Sustituyendo en la ecuación 2.13, se tiene:

$$Q_s = \frac{\left[ (264000 \text{ kg}) \left( 4.2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg }^\circ\text{C}} \right) (4 \text{ }^\circ\text{C}) \right]}{10800 \text{ s}} = 409.3 \text{ KW}$$

$$\begin{aligned}
 P_{ENT.} &= 409.3 \text{ (kw)} \\
 P &= 0.007 \text{ [MPa]} \\
 T_{ENT.} &= 100 \text{ (}^\circ\text{C)} \\
 T_{SAL.} &= 38 \text{ (}^\circ\text{C)} \\
 h_{100} &= 2676.2 \text{ (KJ/kg)} \\
 h_{30} &= 159 \text{ (KJ/kg)} \\
 \eta &= 0.8 \\
 Q^* \eta &= 335.6
 \end{aligned}$$

$$m = \frac{Q}{(h_{Ent} - h_{Sal})\eta} \dots\dots\dots Ec. 2.14$$

El flujo es:

**Tabla 2.13: Resultados**

Resultados		
Cantidad	Unidad	
m =	0.2	kg/s
m =	713.9	kg/hr
m =	45.6	CC
m =	451.2	KW
m =	323.8	lb/hr

**Fuente: Elaboración propia**

Entonces la carga térmica queda de la siguiente manera:

**Tabla 2.14: Resultados**

Demanda térmica total		
Masas vapor	CC	KW
m <sub>aire</sub>	28.96	286.43
m <sub>agua caliente</sub>	13.74	116.72
m <sub>alberca</sub>	45.62	409.3
Total	88.32	812.45
Factor de evaporación	1.12	
Total	99	910
Capacidad excedente para futuras demandas 20 %		
Total	119	1174

**Fuente: Elaboración propia**

De la tabla anterior se escoge 125 CC nominales por capacidad comercial más cercana.

**Tabla 2.15: Demanda Eléctrica Total**

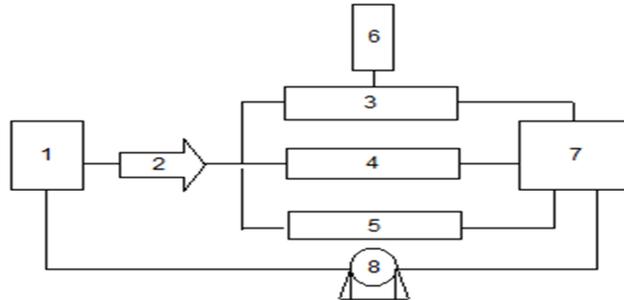
Demanda eléctrica total		
Carga eléctrica	Demanda [KVA]	Demanda[W]
<b>TOTAL</b>	53	48

**Fuente: Elaboración propia**

De igual manera, de la información descrita anteriormente se proponen los siguientes equipos para cubrir las necesidades térmicas de la instalación, siendo estos los siguientes:

- Caldera
- Chiller de absorción (alimentado por el vapor de la caldera) para aire acondicionado.
- Torre de enfriamiento
- Cabezal de vapor
- Intercambiadores de calor, que serán alimentados por el vapor de la caldera para la demanda de agua caliente tanto en la alberca como en los servicios de regaderas, tinas, lavabos, etc.
- Intercambiador de calor con tanque para agua caliente.
- Intercambiador de calor para piscinas.
- Tanque de agua helada.
- Tanque de condensados
- Bombas eléctricas

**Figura 2.3 Esquema de la instalación térmica**



**Fuente: Elaboración propia**

De la figura anterior se tienen los siguientes términos:

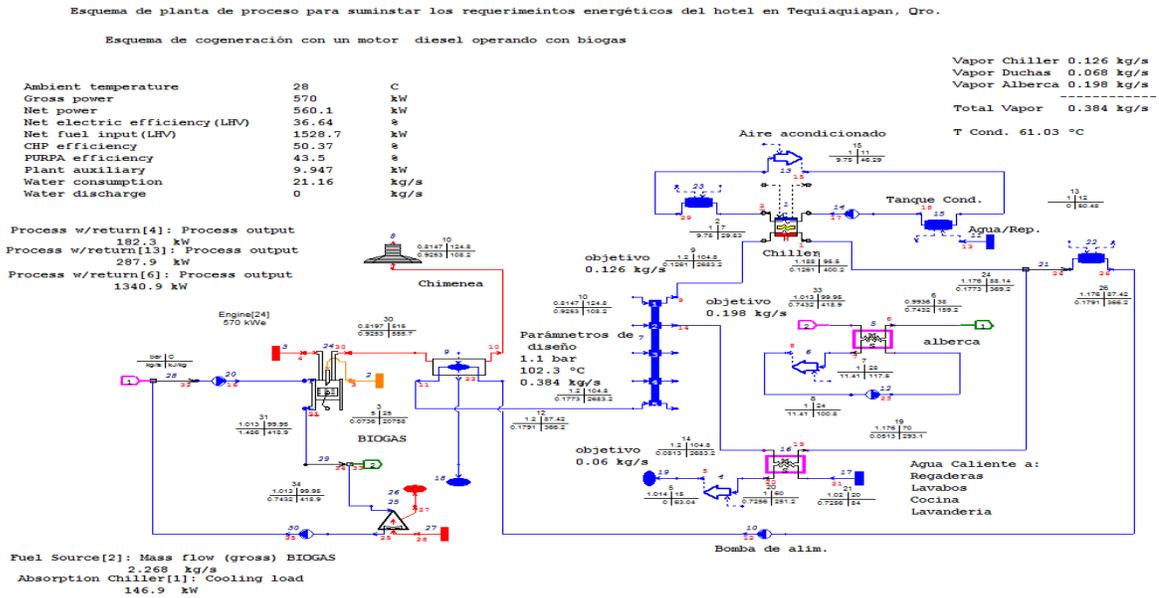
- 1.- Caldera
- 2.- Cabezal de vapor
- 3.- Chiller
- 4.- Intercambiador de calor alberca
- 5.- Intercambiador de calor agua caliente
- 6.- Torre de enfriamiento
- 7.- Tanque de condensados
- 8.- Bomba

El sistema convencional del esquema anterior, Figura 2.4, consta de una caldera (1) que produce vapor a una presión de salida de 1.1 (MPa) el cual alimenta al cabezal de vapor (2) donde a su vez distribuirá vapor a 3 diferentes equipos con una presión de 0.1 (MPa) como el Chiller (3), el intercambiador de calor para el agua caliente (5) y el intercambiador de calor para la alberca (4), todos estos equipos regresan al tanque de condensados (7), el agua de salida de cada uno de ellos para regresarlos nuevamente a la alimentación de la caldera por medio de la bomba (8).

El Chiller (3) a su vez alimentará a la torre de enfriamiento (6) que se encuentra en la parte exterior del edificio. Ambos intercambiadores de calor (4 y 5) son alimentados por el flujo de agua corriente que viene a temperatura ambiente 20°C y que es suministrado por la cisterna estos flujos de agua son los que van a la alberca o a los diferentes servicios que demanda el edificio.

La figura 2.4 muestra con más detalle este sistema en el cual ya se presenta un balance preliminar de los flujos, dicho diagrama se realizó con el programa Thermoflex que ayuda a la simulación de la instalación.

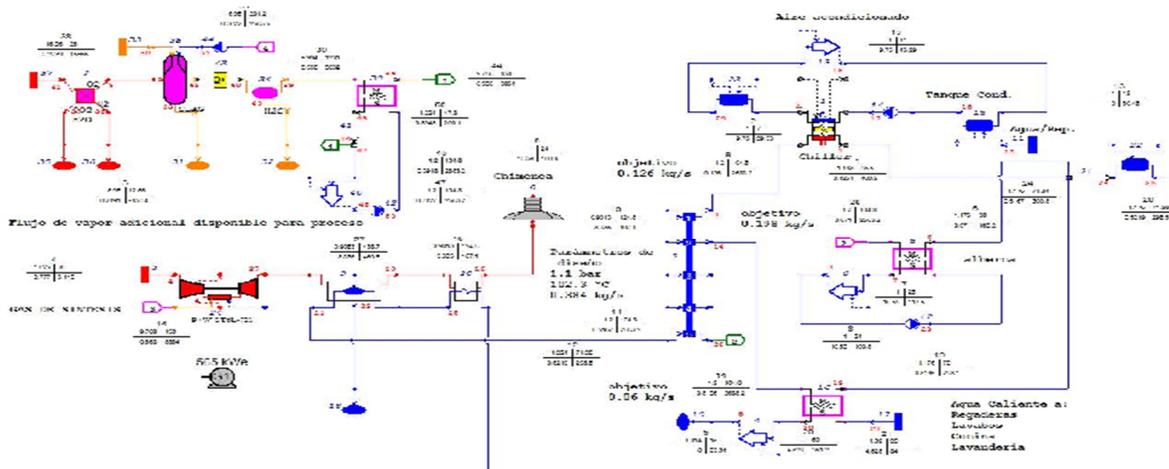
**Figura 2.4: Simulación de balance preliminar de flujos**



Fuente: Elaboración con el programa Thermoflex

La figura 2.5 muestra el sistema de cogeneración en el cual el equipo principal es la turbina de vapor o de gas a la cual se le suministrara el combustible necesario para generar la demanda eléctrica del edificio y con el calor rechazado de dicho proceso se mandará a nuestro sistema secundario (refrigeración y agua caliente descrito arriba) para satisfacer las demandas térmicas, así el objetivo del presente informa es mostrar el posible ahorro que se puede obtener de este sistema comparándolo con el convencional, haciendo redituable la inversión de los equipos adicionales como lo son la turbina, el recuperador de calor, la chimenea y demás equipos.

**Figura 2.5: Sistema de cogeneración con turbina de vapor o gas**



## 2.3 Opciones de potencial energético disponibles en el sitio

### 2.3.1 Biomasa

A continuación se presentan datos<sup>20</sup> de la posible biomasa generada en el estado de Querétaro, donde se espera que el sector primario crezca a una tasa del 9.4 % y el agroalimentario decrezca 2.9 % respectivamente; como resultado de lo anterior, se estima que el sector agroalimentario crecerá a una tasa de 0.4 % durante el año en curso.

Como productor agrícola, el estado de Querétaro es:

- El sexto productor de maíz forrajero de riego con el 10 % de la producción nacional y el 9 % de la superficie sembrada total.
- El séptimo productor de sorgo grano de riego con el 2 % de la producción nacional y el 1 % de la superficie sembrada total.

Los principales cultivos en Querétaro son:

**Tabla 2.16: Maíz de grano**

Riego			
Maíz grano	2008	2009	2010
Superficie cosechada (ha)	24,186.8	22,431	22,772
Rendimiento (Ton/ha)	8	8.9	9.1
Producción (Ton)	194,124.7	199,389.2	206,997.5
Precio medio rural (\$/Ton)	2,138.2	2,675.1	2,672.1
Valor de la producción (millones de \$)	415.1	533.4	553.1

**Fuente: Producción Agrícola SAGARPA**

El maíz es una planta gramínea caracterizada por poseer tallos en forma de caña, aunque macizos en su interior a diferencia del resto de los miembros de su familia que los tienen huecos; destaca fundamentalmente por su inflorescencia femenina llamada mazorca, en donde se encuentran las semillas 8granos de maíz agrupadas a lo largo de un eje; la mazorca está cubierta por brácteas de color verde y textura papirácea y termina en una especie de penacho de color amarillo oscuro.

**Tabla 2.17: Maíz forrajero**

Riego			
Maíz forrajero	2008	2009	2010
Superficie cosechada (ha)	10,928	11,595	10,155.3
Rendimiento (Ton/ha)	57.1	60.7	59
Producción (Ton)	623,897	703,944	599,528
Precio medio rural (\$/Ton)	256.3	332.6	328.7
Valor de la producción (millones de \$)	159.9	234.1	197

**Fuente: Producción Agrícola SAGARPA**

<sup>20</sup> www.sagarpa.gob.mx, 2010, consultado el 23 de enero de 2011.

La planta de maíz forrajero es de porte robusto de fácil desarrollo y producción anual; el tallo es simple, erecto, de elevada longitud pudiendo alcanzar los 4 metros de altura, es robusto y sin ramificaciones, por su aspecto recuerda al de una caña, no presenta entrenudos y sí una medula esponjosa.

**Tabla 2.18: Jitomate**

<b>Riego</b>			
<b>Jitomate</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>
Superficie cosechada (ha)	255	252	225.6
Rendimiento (Ton/ha)	87.2	77.2	82.3
Producción (Ton)	19,690.3	25,987.8	18,556.4
Precio medio rural (\$/Ton)	8,664.5	10,239.7	10,121.2
Valor de la producción (millones de \$)	170.6	266.1	187.8

**Fuente: Producción Agrícola SAGARPA**

Es una planta herbácea, anual semi-leñosa de 50 cm a un metro de altura, hojas dimorfas flores amarillas, agrupadas en racimos; su fruto es una baya globosa, lisa, deprimida en la base, con costillas en algunas variedades y perfectamente esférica en las más estimadas, tiene aproximadamente 6 cm de diámetro

**Tabla 2.19: Sorgo grano**

<b>Riego</b>			
<b>Sorgo Grano</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>
Superficie cosechada (ha)	5,012	5,332	4275.7
Rendimiento (Ton/ha)	8.9	9.2	8.9
Producción (Ton)	44,858	49,161	38,068.2
Precio medio rural (\$/Ton)	2,033.7	2,618.5	2,438.9
Valor de la producción (millones de \$)	91.2	128.7	92.8

**Fuente: Producción Agrícola SAGARPA**

Es una planta originaria de la India, de la familia de las gramíneas, con cañas de un metro y medio de altura, llenas de un tejido blanco y algo dulce y vellosas en los nudos de hojas lampiñas

**Tabla 2.20: Avena forrajera**

<b>Riego</b>			
<b>Avena forrajera</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>
Superficie cosechada (ha)	2,087	2,107	1,941.4
Rendimiento (Ton/ha)	27.9	29.9	28.2
Producción (Ton)	58,362	63,018.3	54,771.2
Precio medio rural (\$/Ton)	255.8	281.6	268.2
Valor de la producción (millones de \$)	14.9	17.7	14.7

**Fuente: Producción Agrícola SAGARPA**

La avena es una planta herbácea anual, perteneciente a la familia de las gramíneas, posee un sistema radicular potente, con raíces más abundantes y profundas que las de los demás cereales, los tallos son gruesos y rectos, pero con poca resistencia al viento; están formados por varios entrenudos que terminan en gruesos nudosa; las hojas son planas y alargadas.

**Tabla 2.21: Maíz de grano**

<b>Temporal</b>			
<b>Maíz grano</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>
Superficie cosechada (ha)	83,875.6	89,230	90,209.4
Rendimiento (Ton/ha)	2.2	1.4	1.8
Producción (Ton)	182,335.6	128,937.4	163,053.4
Precio medio rural (\$/Ton)	1,816.2	2,272.3	2,269.7
Valor de la producción (millones de \$)	331.2	293	370.1

**Fuente: Producción Agrícola SAGARPA**

**Tabla 2.22: Frijol**

<b>Temporal</b>			
<b>Frijol</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>
Superficie cosechada (ha)	11,092.4	15,170	16,346.7
Rendimiento (Ton/ha)	0.4	0.7	0.6
Producción (Ton)	3,992.8	11,726.4	9,054.5
Precio medio rural (\$/Ton)	5,308.9	5,148.3	5,539.8
Valor de la producción (millones de \$)	21.2	60.4	50.2

**Fuente: Producción Agrícola SAGARPA**

Es una planta originaria de Mesoamérica, la cual se ha venido cultivando desde hace 8 mil años, desarrollándose durante ese tiempo una gran variedad de tipos y calidad. Asimismo, es un alimento fundamental en la dieta de la población mexicana, sobre todo para las clases más desprotegidas del país; ya que constituye la principal fuente de proteínas.

**Tabla 2.23: Alfalfa verde**

<b>Perennes</b>			
<b>Alfalfa Verde</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>
Superficie cosechada (ha)	7,835	7,779	7,734.5
Rendimiento (Ton/ha)	81.7	81.2	76.9
Producción (Ton)	640,379	631,654.8	594,783.1
Precio medio rural (\$/Ton)	326	397.6	417.1
Valor de la producción (millones de \$)	208.7	251.1	248.1

**Fuente: Fuente: Producción Agrícola SAGARPA**

Planta herbácea que alcanza hasta un metro de altura; tiene hojas pequeñas de color verde brillante; las flores son azules o violetas y originan frutos en forma de vaina; es una de las plantas forrajeras más alimenticias, es rica en proteínas, minerales y vitaminas, debido a que su raíz puede introducirse a gran profundidad puede alcanzar cualquier reserva de nutrientes y soportar sequías extremas

En resumen en el Estado de Querétaro se tiene:

**Tabla 2.24: Volumen de producción en miles de toneladas**

Volumen de producción Miles de toneladas				
Año	2009	2010	Var. Anual %	Lugar Nacional 2009
Riego				
Maíz grano	199.8	206.9	3.8	12 °
Maíz Forrajero	703.9	599.5	-14.8	6 °
Jitomate	25.9	18.7	-27.8	16 °
Sorgo grano	49.2	56.8	15.4	7 °
Avena forrajera	63	56.5	-10.3	12 °
Temporal				
Maíz grano	128.9	163.1	26.5	13 °
Frijol	11.7	9.1	-22.2	17 °
Perennes				
Alfalfa verde	631.7	594.8	-5.8	12 °

**Fuente: Estimaciones SAGARPA**

### 2.3.1.1 Residuos forestales

#### *Biocombustibles*

Un ejemplo de este tipo de combustibles son: la leña, los residuos forestales, el carbón vegetal y los desechos agrícolas como la paja, bagazo y otros; estos energéticos tienen amplio uso en la cocción de alimentos, el calentamiento de agua, la producción de electricidad en turbinas de vapor, la producción de calor industrial y electricidad; además, se puede obtener de ellos gas de pirólisis que se usa como energético en motores de combustión interna.

### 2.3.1.2 Residuos agrícolas

Plantaciones o cultivos agroenergéticos inducidos por el hombre con vistas a su utilización energética y/o como materias primas para otras industrias; estas van desde las plantaciones de palmeras, pastos de crecimiento rápido, cultivos de caña azúcar, entre otros; el empleo y la selección de plantas para producción de energía puede llevar consigo problemas comparable con los que se dan en la agricultura intensiva de los alimentos con el empleo de cantidades de fertilizantes y plaguicidas nocivos para la naturaleza.

#### *Plantaciones energéticas*

La silvicultura ofrece alternativas para la producción de biomasa para la bioenergía, mediante plantaciones con especies perennes, conocidas también como plantaciones energéticas; a diferencia de los cultivos agroenergéticos, las plantaciones energéticas producen biomasa leñosa (lignocelulósica), constituida principalmente por celulosa (y en menor porcentaje por hemicelulosa y lignina).

A los sistemas de producción de biomasa para la bioenergía que utilizan especies perennes leñosas se les conoce también como plantaciones de leña o plantaciones dendroenergéticas.

Con las nuevas tecnologías, toda la biomasa, sea de tipo celulósico o de almidones, puede aprovecharse para convertirse en biocarburantes (etanol, biodiesel), en biogás y en biocombustibles para la producción de calor y en electricidad.

### **2.3.1.3 Residuos orgánicos**

#### *Biocarburantes*

Este tipo de combustible proviene de los aceites vegetales puros, los aceites vegetales esterificados, el alcohol, los residuos de aceite de cocina, los cuales se emplean en motores Otto y Diesel, para poner en marcha automóviles, autobuses, camiones de carga o para producir electricidad y calor en generadores y trabajo mecánico proveniente de su uso en motores industriales.

Estos energéticos líquidos actualmente provienen de una amplia variedad de cultivos como son la caña de azúcar, el maíz, el betabel, colza, la soja, la palma de aceite y el piñón; así como los residuos de cocina y residuos agroindustriales y de material lignocelulósico provenientes de plantaciones energéticas forestales.

#### *Biogás*

El metano es un gas producto de la fermentación de residuos orgánicos que los bosques, campos agrícolas y de los desechos de animales de crianza como vacas, cerdos, borregos, cabras, caballos y aves; asimismo, este producto energético se puede obtener de la basura a través de su producción de rellenos sanitarios; el metano cuando es extraído se emplea entonces para producir ya sea energía térmica, mecánica o eléctrica; por otro lado, el hidrógeno, combustible gaseoso, también puede ser obtenido transformando residuos orgánicos o bien mediante procesos fotobiológicos.

A muy largo plazo la transición energética puede llevar en efecto al empleo de diferentes tipos de combustibles para automotores, no obstante las mejores predicciones a la fecha indican que para al menos otros treinta años seguiremos usando preferentemente combustibles líquidos en este sector; en éste se consumen en México más de 100 millones de litros diarios de gasolina y alrededor de 50 millones de litros por día de diesel; la utilización de gas para el transporte es en órdenes de magnitud menor a estos valores<sup>21</sup>.

La bioenergía es la única energía renovable que se puede almacenar tan fácilmente como el petróleo y el gas lo cual es una ventaja económica para establecer el equilibrio entre la oferta y la demanda de energía; en el sector eléctrico, esta misma cualidad hace que la bioenergía para la producción de electricidad sea completamente compatible; ya que las plantas de bioenergía constituyen capacidades firmes de potencia eléctrica.

La bioenergía sustentable fomenta la vegetación, ofrecen nuevas oportunidades a la agricultura, permiten un mejor equilibrio entre desarrollo urbano y desarrollo rural y propicia un mejor manejo de los espacios, de los bosques, de las reservas naturales, de los asentamientos humanos y de las actividades productivas.

---

<sup>21</sup> Bioenergía, Ideas CONCYTEG, 2009, consultado el 3 de febrero de 2011.

Permite también la eliminación de los desechos orgánicos rurales y urbanos por lo que contribuye a la higiene y al desarrollo de materiales y sustancias de origen orgánico para la industria de la construcción y del papel; desde el punto de vista social y económico la bioenergía tiene un potencial amplio para el desarrollo de pequeñas y medianas empresas.

### *Categorías de material orgánico para la producción energética*

Reconociendo el enorme potencial y las ventajas que representa la bioenergía, es claro que ella por sí sola no puede desplazar el patrón actual de producción de energía basado fundamentalmente en las energías fósiles y nucleares; ella puede sin embargo, contribuir a desplazarlo junto con la amplia variedad de energías renovables.

No obstante el múltiple origen orgánico de la bioenergía, producto de una gran variedad de procedencias, de manera genérica se pueden distinguir dos categorías de producción de material orgánico para la producción energética:

Residuos orgánicos, naturales y de origen antropogénico, que sin otra utilización, liberan su energía en el proceso de su descomposición y dan como resultado CO<sub>2</sub> y metano; los residuos orgánicos naturales son todos aquellos residuos orgánicos que se generan de manera natural anualmente en los bosques; estos residuos, que son enormes, son factibles de usarse para fines energéticos pero su aprovechamiento exige que se realice en el marco de un manejo sustentable de bosques, que guarde los equilibrios de los nutrientes de los suelos y de los ecosistemas a fin de preservar la existencia de los bosques<sup>22</sup>.

Los residuos de origen antropogénico, son los residuos orgánicos que se generan en el sistema económico y en la sociedad en general, estos residuos se generan en grandes cantidades y están constituidos por los desperdicios provenientes del estiércol de animales y humanos, desechos agrícolas, rastros municipales, basura orgánica, lodos depuradoras, paja, bagazos de caña y agave, cascarilla de trigo y arroz, rastrojo de maíz, virutas, desechos de madera y papel entre otros.

### *Bioenergéticos de primera generación*

Los biocarburantes de primera generación, como el llamado bioetanol (etanol carburante o etanol anhidro) y el biodiesel basan su producción en granos y semillas, respectivamente, que son con frecuencia materias primas usadas como alimentos de consumo humano o animal; los de segunda generación a partir de biomasa o lignocelulosa, los de tercera a partir de una captura y almacenamiento directo de bióxido de carbono y energía solar; los procesos de conversión de la primera generación han sido probados a escala comercial y por tanto se dice que son tecnologías maduras.

### *Bioenergéticos de segunda generación*

La biomasa o lignocelulosa, principalmente aquella contenida en los desechos de bosques y en los residuos agroindustriales parecen ser una buena alternativa para la producción de etanol, ya que estos son relativamente baratos, abundantes y en ocasiones presentan un problema de disposición, pero sobre todo no compiten con la cadena de producción de alimentos, la lignocelulosa es un polímero natural que representa el 50% de la biomasa en el planeta y se encuentra en residuos agrícolas (bagazo de caña, rastrojo de maíz, residuos de soya, paja de

---

<sup>22</sup> Bioenergía, CONCYTEG, 2009, consultado el 17 de febrero de 2010.

trigo, olotes de maíz, entre otros), en desperdicios industriales (papel, viruta, aserrín, etc.), en desechos forestales y municipales, así como en muchos pastos de crecimiento rápido.

### *Bioenergéticos de tercera generación*

Es muy probable que las microalgas hayan jugado un papel muy importante en el desarrollo de materia orgánica que dio origen al petróleo; estas pueden crecer en aguas salobres, dulces y de desecho con alta calidad de materia orgánica; además las microalgas presentan propiedades muy variadas y existen algunas que acumulan una alta cantidad de carbohidratos, otras acumulan proteínas, algunas aceites y otras hasta compuestos lineales como los alcanos y los alquenos o aromáticos que pueden ser usadas para obtener materias primas para la manufactura de etanol o butanol, alimento para ganado, biodiesel y hasta los denominados bioturbosina y biopetróleo<sup>23</sup>.

### *Potencial energético del estiércol ganadero en México*

En México existen diversas regiones donde la actividad económica preponderante es la crianza y aprovechamiento integral del ganado vacuno y porcino, principalmente.

A la fecha, existen proyectos que han desarrollado alternativas para un manejo adecuado de estos desperdicios, de tal manera que se aproveche su contenido energético como fuente de generación de metano, esto considerando y tomando en cuenta estudios realizados en otros países, cada cabeza de ganado vacuno genera 10 kg., al día aproximadamente de excreta con un alto contenido de biomasa, y si en México se cuenta, con una población estimada de más de 3.5 millones de cabezas de ganado vacuno (cárnico y lechero), sin considerar a la población del ganado porcino, esto significa que anualmente se generan poco menos de 13 millones de toneladas de estiércol ganadero sin ningún aprovechamiento energético, razón por la cual se considera que esto representa un área de oportunidad que podría reeditar muchos beneficios en términos de generación de energía y con impactos favorables al ambiente<sup>24</sup>.

---

<sup>23</sup> www.conuee.gob.mx, 2010, consultado el 3 de marzo de 2011.

<sup>24</sup> www.conuee.gob.mx, 2010, consultado el 3 de marzo de 2011.

## Conclusiones

En este capítulo se estudio y planteó los requerimientos y necesidades energéticas de la instalación propuesta para que el hotel ofrezca los servicios con calidad y eficiencia desde el punto de vista energético, para lograr lo anterior se realizó la caracterización de la demanda, consumo térmico y eléctrico para las diferentes instalaciones y servicios que ofrecerá el hotel

Para determinar las demandas se realizaron los cálculos para el consumo eléctrico y térmico en base a los equipos y los servicios que ofrecerá el hotel determinando las necesidades y especificaciones de los procesos a desarrollar, siguiendo los lineamientos de las prácticas usuales de ingeniería, para el cálculo de las cargas eléctricas en las diferentes áreas y servicios, así como referente a los consumos térmicos debido a los consumos de agua caliente y vapor; encontrando que dichas cargas son de 125 KW y por la parte térmica se determina una capacidad del sistema térmico de 111 c.c.

Con ayuda del programa Thermoflow se simularon las diferentes opciones que se tiene para saber cuál de las diferentes alternativas para la generación térmica y eléctrica es más viable, en estas simulaciones se plantearon diferentes combustibles y verificando los resultados obtenidos el combustible con más posibilidades de utilizar fue la biomasa, por lo que fue necesario obtener información de lo que se cultiva cerca de la zona de construcción, en específico en los alrededores del municipio de Tequisquiapan.

.

,

## **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 biomasa<sup>25</sup>.

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 H<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>, 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.

---

<sup>25</sup> 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 pirolisis, 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	*				Pirolisis	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
	Aguas negras		*			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 <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> 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.

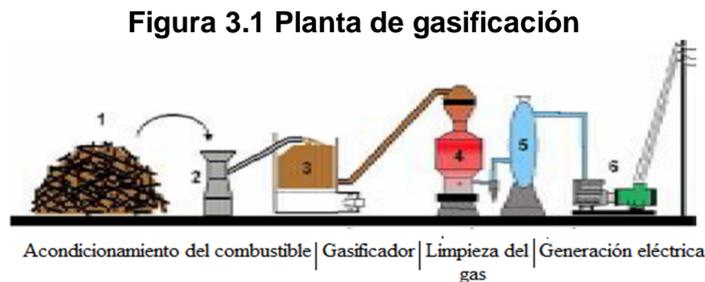
En el proceso de gasificación los rendimientos son diferentes de acuerdo a las diferentes fases de los residuos, siendo el rendimiento de estos los siguientes:

- 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](http://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 <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>

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.

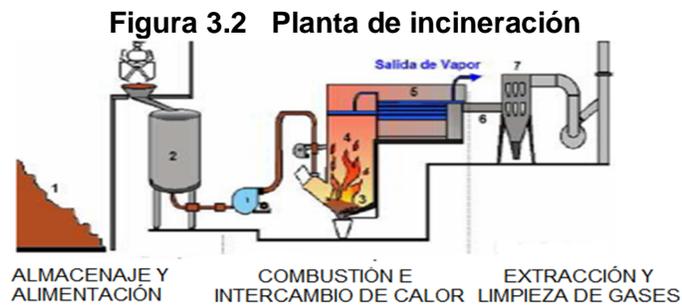
Eficiencia del proceso de incineración: entre un 20-25%.

### *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](http://www.sick.com.mx)

### 3.1.3 Digestores

La llamada digestión anaeróbica 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 molecular<sup>26</sup>.

La transformación biológica anaeróbica 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.

<sup>26</sup> TECNOCIENCIA, 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

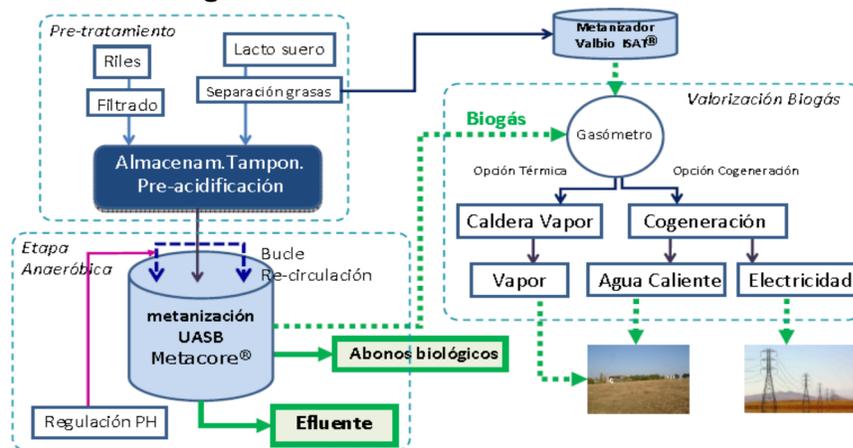
### Metanización

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 reactores<sup>27</sup>. El carbono y el hidrógeno son transformados en gas rico en metano CH<sub>4</sub> 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.**



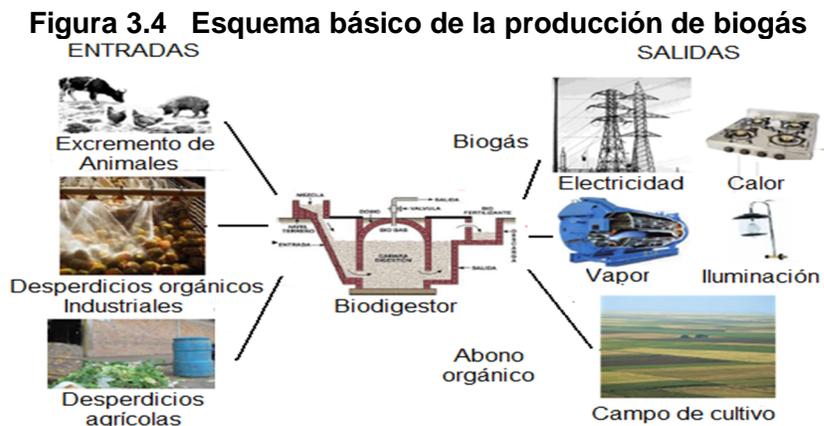
Fuente: [www.egu.es](http://www.egu.es)

<sup>27</sup> 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 desarrollo<sup>28</sup>,

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 ( $\text{CH}_4$ ) en una proporción que oscila entre un 40% a un 70% y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), conteniendo pequeñas proporciones de otros gases como hidrógeno ( $\text{H}_2$ ), nitrógeno ( $\text{N}_2$ ), oxígeno ( $\text{O}_2$ ) y sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ).

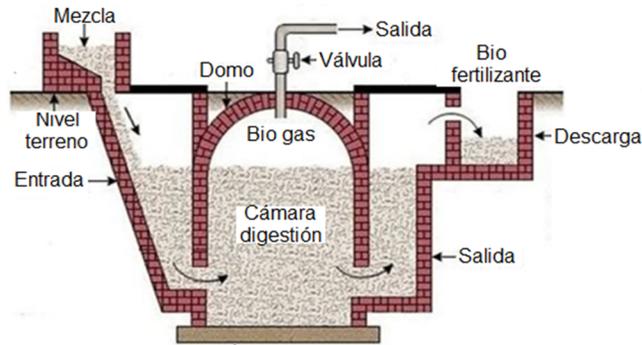


Fuente: [www.biodisol.com.mx](http://www.biodisol.com.mx)

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.

<sup>28</sup> CONCYTEG, Planeación energética, 2010, consultado el 25 de abril de 2011.

**Figura 3.5: Esquema básico de un digestor**



Fuente: [www.biodisol.com.mx](http://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:

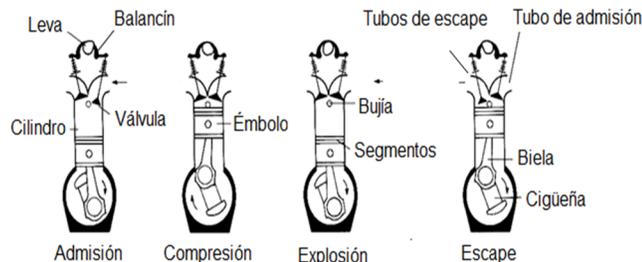
- Motor de combustión interna
- Turbina de gas
- Calderas

### *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 escape<sup>29</sup>.

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](http://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.

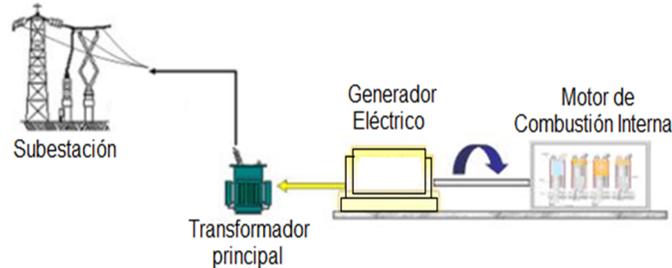
En el primer tiempo, se abre la válvula de admisión que permite la entrada de una mezcla aire-vapor de gasolina, mientras el pistón baja hasta llenar la cámara de combustión del cilindro, en el segundo tiempo se efectúa la compresión, el cigüeñal hace subir el émbolo, el cual comprime fuertemente la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

<sup>29</sup> [www.wikipedia.com.mx](http://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](http://www.bibliotecadigital.ilce.edu.mx)

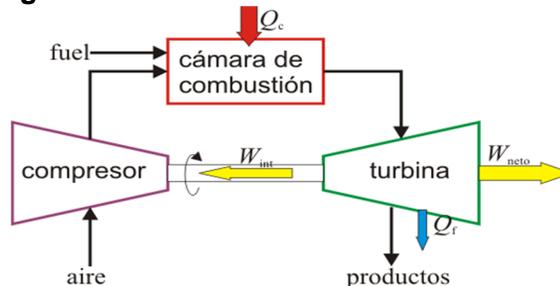
### *Turbina de gas*

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 carga<sup>30</sup>

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](http://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*

<sup>30</sup> 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 eléctrica<sup>31</sup>.

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**

<b>TIPO DE COMBUSTIBLE</b>	<b>PODER CALORÍFICO NETO</b>
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 <sup>3</sup>
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 PCN<sup>32</sup>.

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

<sup>31</sup> SENER, balance de energía, 2005, consultado el 28 de mayo de 2011.

<sup>32</sup> 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/cm<sup>2</sup> (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/cm<sup>2</sup>
- (Hasta 250 PSI = 17.5 kg/cm<sup>2</sup>)
- 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 <sup>2</sup> /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 <sub>2</sub> (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](http://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.

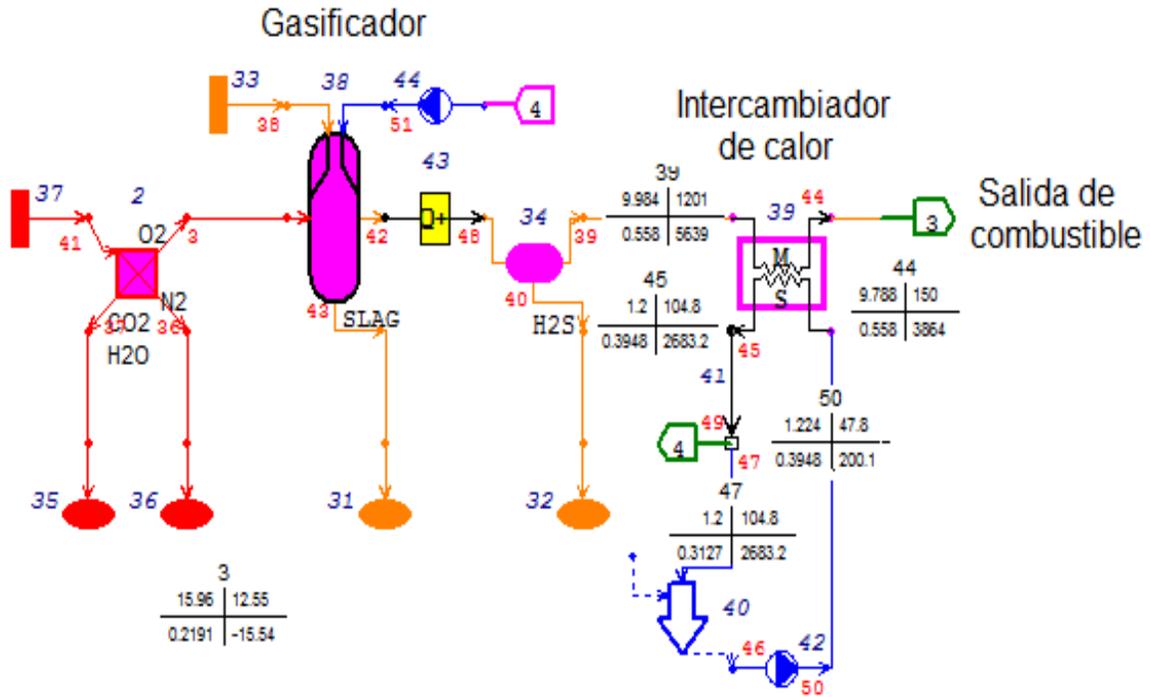
### **Proceso de producción de energía Térmica-Eléctrica, simulación en programa Termoflex.**

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 3.9 Esquema de la estructura del gasificador.**



Fuente: Programa Thermoflex

De la figura anterior se obtienen los siguientes resultados.

**Tabla 3.6 Resultados del proceso**

VALOR	UNIDAD
9.788	bar
150	°C
0.558	kg/s
3864	kJ/kg

Fuente: Elaboración propia

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

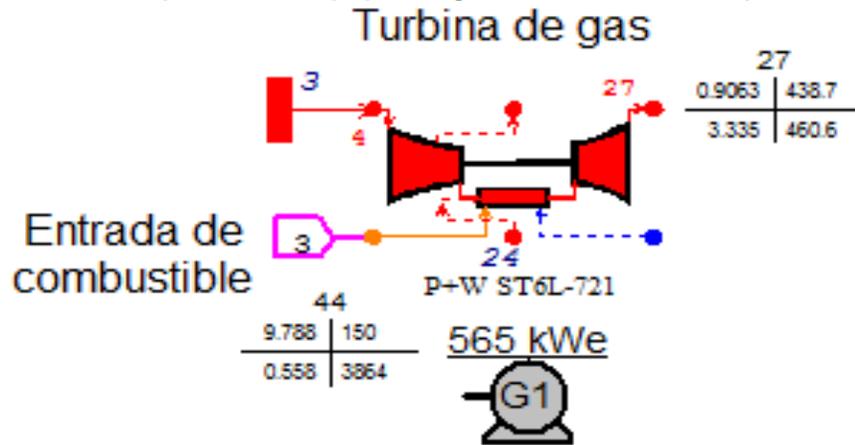
**Tabla 3.7 Parámetros contemplados en el diseño**

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

Fuente: Elaboración propia

El gas síntesis obtenido del gasificador provee de combustible a la turbina de gas de 565 kW, del calor recuperado de la turbina se genera en la caldera de recuperación un flujo de agua y vapor donde se registran los siguientes valores en la simulación:

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



De la figura anterior se obtienen los siguientes resultados.

**Tabla 3.8 Resultados del proceso**

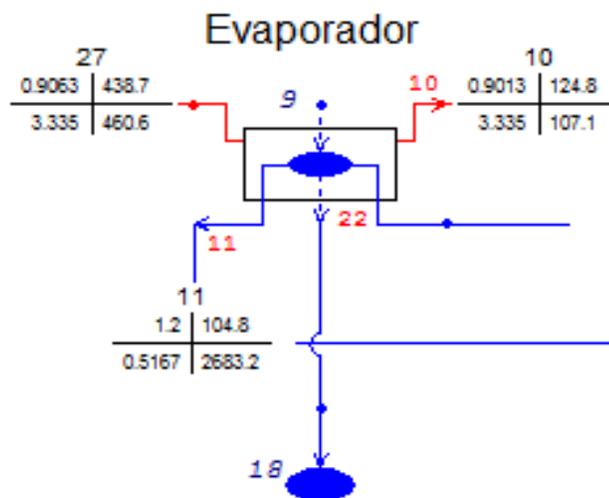
VALOR	UNIDAD
0.9063	bar
438.7	°C
3.335	kg/s
460.6	kJ/kg

**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**



De la figura anterior se obtienen los siguientes resultados.

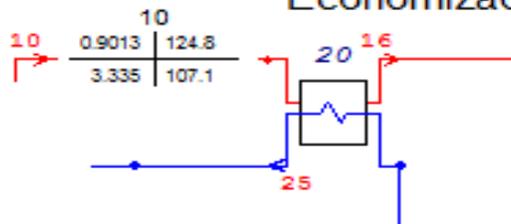
**Tabla 3.9 Resultados del proceso**

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.

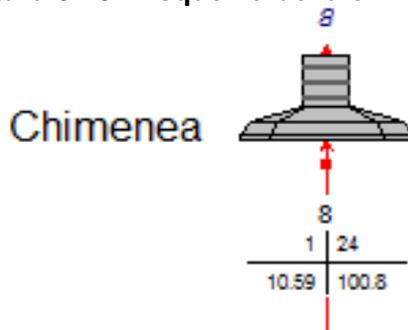
**Tabla 3.10 Resultados del proceso**

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**

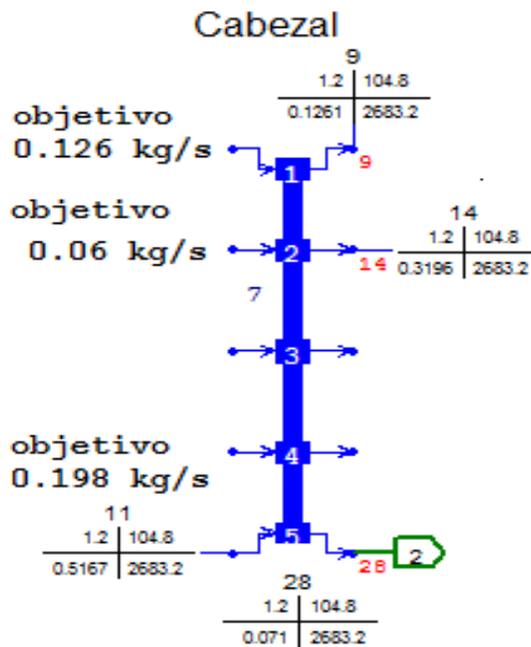
VALOR	UNIDAD
1	bar
24	°C
10.59	kg/s
100.8	kJ/kg

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.

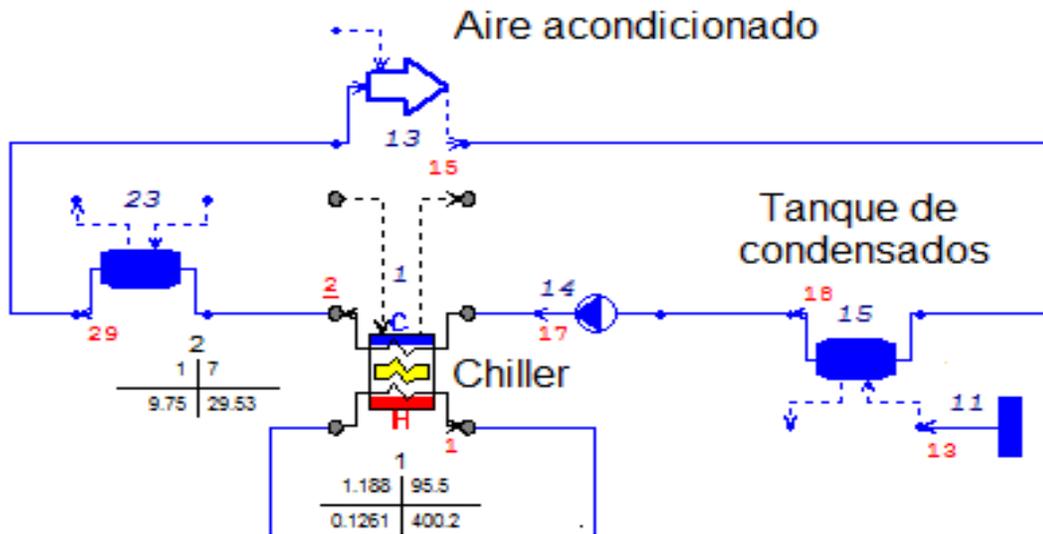
**Tabla 3.12 Resultados del proceso**

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

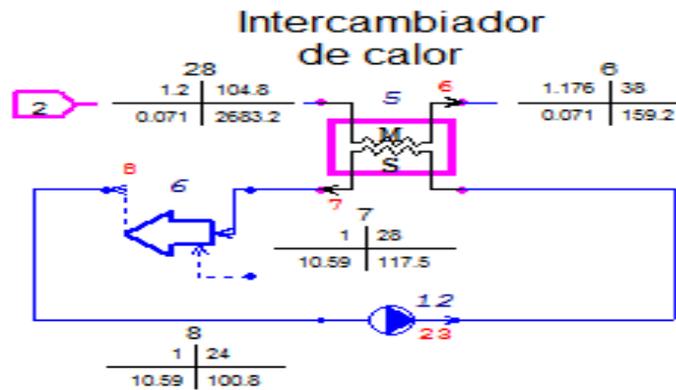
**Tabla 3.13 Resultados del proceso**

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

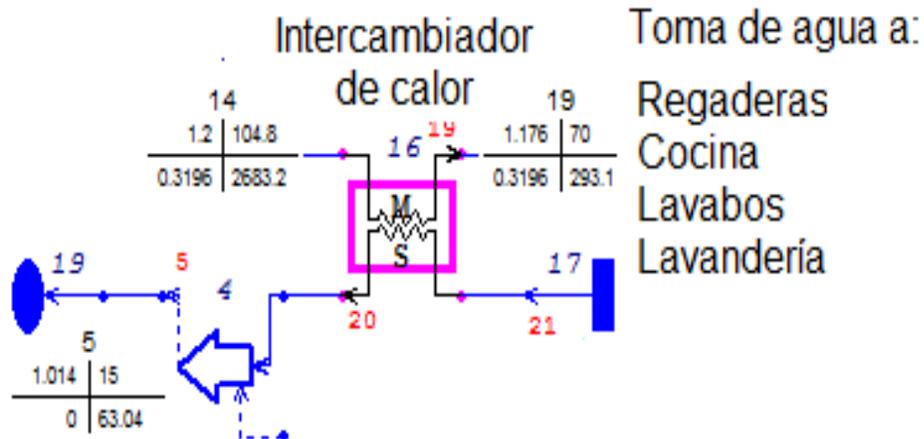
**Tabla 3.14 Resultados del proceso**

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:

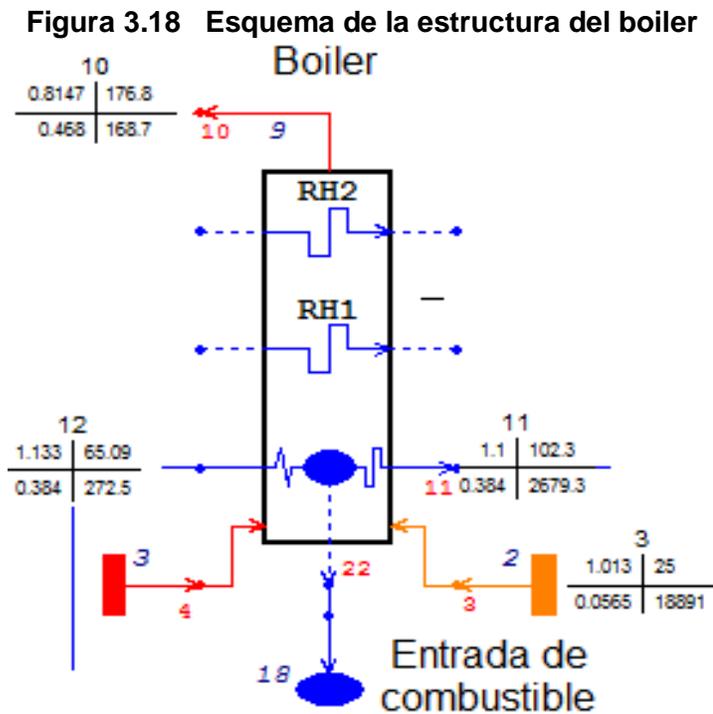
**Tabla 3.16 Resultados obtenidos de la simulación en el programa Termoflex.**

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:



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**

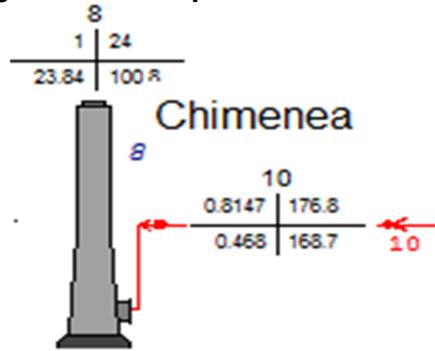
Parámetros de diseño	Valor	Unidad
	1.1	bar
	102.3	°C
	0.384	kg/s

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

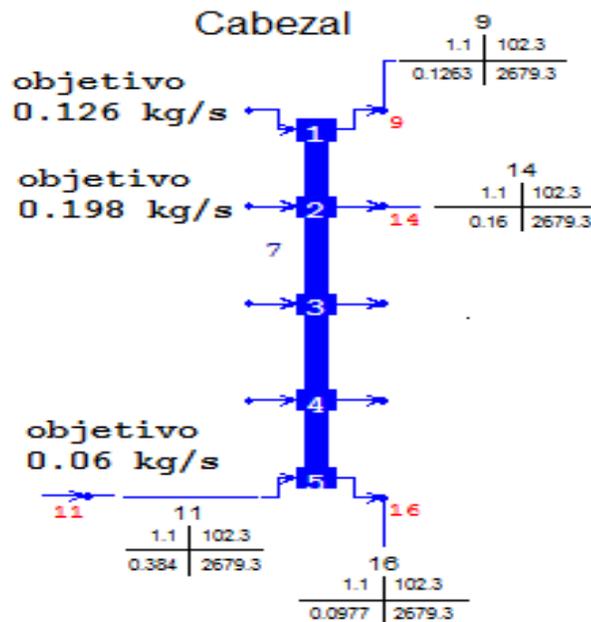
**Tabla 3.19 Resultados del proceso**

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



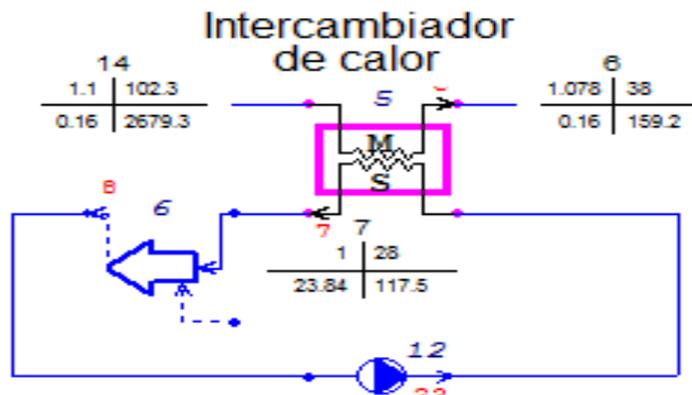
**Tabla 3.21 Resultados del proceso**

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

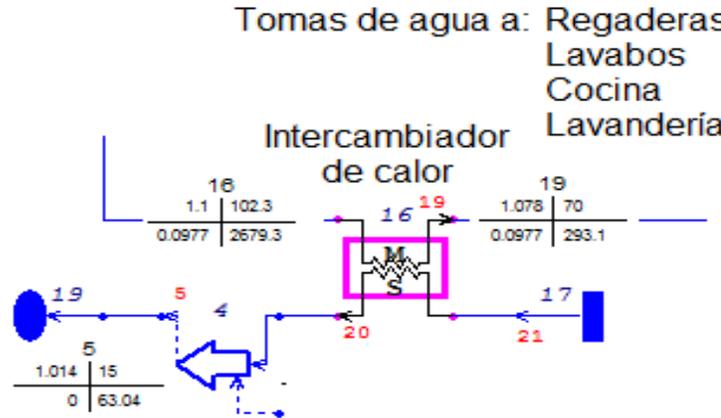
**Tabla 3.22 Resultados del proceso**

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**



Fuente: Programa Thermoflex

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

## **Capítulo 4**

### **Evaluación de las alternativas de inversión**

#### **Introducción**

La evaluación tiene una larga historia y solo hasta nuestros días se ha llegado a considerar como una práctica profesional, mucha parte del trabajo de evaluación moderno continúa basándose en ideas técnicas que ya se aplicaban desde hace mucho tiempo.

A toda actividad encaminada a tomar una decisión se le llama evaluación; si un cierto proyecto se le diera a evaluar a dos grupos de trabajo multidisciplinarios, los resultados serían distintos; esto debido a que conforme avanza el estudio, las alternativas de selección son múltiples en tamaño, la localización y el tipo de tecnología que se emplea. Es también de considerar el enfoque que cada grupo le da la evaluación, en la evaluación de cada grupo se manejan datos, se vierten opiniones, juicios de valor, etc., los cuales influirán en la decisión final del proyecto

El objetivo básico de todo estudio de un proyecto es evaluarlo, es decir, calificarlo y compararlo con otros proyectos de acuerdo con una determinada escala de valores a fin de establecer un orden; esta tarea exige precisar las ventajas y desventajas de la asignación de recursos a un fin dado

Después de realizar la evaluación y la presentación de resultados, la persona que toma la decisión final deberá de contar con parámetros, modelos para poder discernir cual de las propuestas de análisis se apega a lo establecido previamente o cumple con las necesidades requeridas.

La evaluación es prioritaria en los diversos niveles tanto del trabajo en la iniciativa privada como en las instituciones públicas puesto que es la base para poder tener proyectos viables y sobre todo que se puedan realizar; para que las evaluaciones de los diversos proyectos sean viables deben analizarse desde el contexto social, político, económico, ambiental y cultural, con esto se garantiza una continuidad y una liga entre la concepción mental y la realización de cualquier proyecto.

El principal fundamento<sup>33</sup> para decidir la viabilidad de un proyecto de cogeneración esta dado por la mejora económica que se pueda lograr con el desarrollo de la técnica de cogeneración en el proceso industrial. Así que la evaluación de la viabilidad económica tiene componentes técnicos y financieros, por tanto la identificación y evaluación de los costos que intervienen en el análisis de los esquemas de cogeneración, primero contra los convencionales y después entre ellos, ofrecen el mejor y más claro criterio de decisión.

La reducción del costo de generar los requerimientos energéticos por cogeneración, es función del valor de mejora que se pueda lograr en la eficiencia respecto a la forma convencional. Estos costos pueden ser reducidos aun más con el incremento en el ahorro que se pueda obtener con la venta de excedentes eléctricos y/o térmicos. Ya que este flujo de ingreso por ventas se suma al flujo de efectivo generado por el ahorro en la factura eléctrica.

---

<sup>33</sup> Notas de cogeneración, Gabriel León de los Santos, UNAM. Consultado el 28 de mayo de 2011.

Pero si no hay venta de excedentes y en vez de eso hay porteo a una instalación asociada, deberá haber un ingreso derivado de la diferencia de costo entre el costo del servicio de transmisión y el costo evitado en la compra de la energía que hace la instalación asociada en la red pública. Así que la evaluación de estos dos flujos e integrándoles el costo por la construcción de la infraestructura y los gastos de operación darán sustento a la comparación entre ahorros dados por diferentes arreglos de cogeneración. El abasto por cogeneración es más económico que la forma convencional.

De existir excedentes y dependiendo de la planta de cogeneración, los excedentes pueden ser puestos en la red como venta o como porteo a una instalación asociada.

#### **4.1 Costos de implementación y de financiamiento**

La evaluación económica constituye la parte final de toda secuencia de análisis de factibilidad en los proyectos de inversión, en la cual, una vez concentrada toda la información generada, se aplican métodos de evaluación económica que contemplan el valor del dinero a través del tiempo, con la finalidad de medir la eficiencia de la inversión total involucrada y su probable rendimiento durante su vida útil.

Especialmente en los proyectos de carácter lucrativo la parte que corresponde a la evaluación económica es fundamental, puesto que con los resultados que de ella se obtienen, se toma una decisión de llevar a cabo o no la realización de un proyecto determinado.

##### **4.1.1 Inversión**

A la hora de realizar cualquier estudio económico, uno de los primeros conceptos que se debe de analizar es el de la inversión, es decir la aplicación de determinados fondos para la adquisición de los activos necesarios para poner en marcha determinado proyecto; para su estudio la inversión se desglosa de la siguiente manera:

- Desarrollo del proyecto (licencias, terrenos, contratos)
- Obra civil
- Terreno
- Equipos
- Instalaciones eléctricas
- Instalaciones térmicas
- Supervisión y puesta en marcha
- Seguros y comisiones del proyecto
- Dirección del proyecto

##### **4.1.2 Combustible**

Es cualquier material capaz de liberar energía cuando se oxida de forma violenta con desprendimiento de calor, supone la liberación de una energía de su forma potencial (energía química) a una forma utilizable sea directamente energía térmica) o energía mecánica (motores térmicos) dejando como residuo calor (energía térmica). En general se trata de sustancias susceptibles de quemarse, pero hay excepciones por ejemplo:

Hay varios tipos de combustibles:

- Entre los combustibles sólidos se incluyen el carbón, la madera y la turba. El carbón se quema en calderas para calentar agua que puede vaporizarse para mover máquinas a vapor o directamente para producir calor utilizable en usos térmicos (calefacción). La turba (carbón mineral) y la madera se utilizan principalmente para la calefacción doméstica e industrial, aunque la turba se ha utilizado para la generación de energía y las locomotoras que utilizaban madera como combustible eran comunes en el pasado.
- Entre los combustibles fluidos, se encuentran los líquidos como el gasóleo, el queroseno o la gasolina (o nafta) y los gaseosos, como el gas natural o los gases licuados de petróleo (GLP), representados por el propano y el butano. Las gasolinas, gasóleos y hasta los gases, se utilizan para motores de combustión interna.

Características :La principal característica de un combustible es el calor desprendido por la combustión completa una unidad de masa (kilogramo) de combustible, llamado poder calorífico, se mide en julios por kilogramo, en el sistema internacional (SI) (normalmente en kilojulios por kilogramo, ya que el julio es una unidad muy pequeña). En el obsoleto sistema técnico de unidades, en calorías por kilogramo y en el sistema anglosajón en BTU por libra.

**Tabla 4.1 Tabla de poderes caloríficos de combustibles**

Combustible	MJ/kg	Kcal/Kg
Gas natural	53.6	12800
Acetileno	48.55	11600
Propano gasolina butano	46	11000
Gasoil	42.7	10200
Fueloil	40.2	9600
antracita	34.7	8300
Coque	32.6	7800
Gas de alumbrado	29.3	7000
Alcohol de 95 °C	28.2	6740
Lignito	20.0	4800
Turba	19.7	4700
Hulla	16.7	4000

Fuente: [www.quimicaweb.net](http://www.quimicaweb.net)

#### Biocombustibles

Los llamados biocombustibles, son sustancias procedentes del reino vegetal, que pueden utilizarse como combustible, bien directamente, o tras una transformación por medios químicos.

Entre ellos se encuentran:

- Sólidos: Aprovechamiento de materias sólidas agrícolas (madera o restos de otros procesos, como cáscaras no aprovechables)
- Líquidos: En general procedentes de transformaciones químicas de ciertas materias orgánicas, como el bioalcohol o el biodiesel.
- Gaseosos: Como el llamado biogás, que es el residuo natural de la putrefacción de organismos vivos en atmósfera controlada y que está compuesto de metano y dióxido de carbono a partes más o menos iguales

### **4.1.3 Operación y mantenimiento**

Las operaciones de mantenimiento tienen lugar frente a la constante amenaza que implica la ocurrencia de una falla o error en un sistema, maquinaria o equipo; existe la necesidad de optimizar el rendimiento de los equipos instalados (mecánicos, eléctricos, electrónicos, térmicos, etc.)

El objetivo buscado por el mantenimiento es el de contar con instalaciones en óptimas condiciones en todo momento, para asegurar la disponibilidad total del sistema en todo su rango de operaciones, lo cual está basado en la carencia de errores y fallas.

El mantenimiento debe procurar un desempeño continuo y operando bajo las mejores condiciones técnicas, sin importar las condiciones externas (ruido, polvo, humedad, calor, etc.), del ambiente al cual este sometido el sistema.

El mantenimiento además debe estar destinado a:

- Optimizar el confort del hotel
- Reducir los costos por fallas
- Disminuir el gasto por nuevos equipos
- Maximizar la vida útil de los equipos existentes

Los procedimientos de mantenimiento deben evitar fallas, por cuanto una falla se define como la incapacidad para desarrollar un trabajo en forma adecuada o simplemente no desarrollarlo; un equipo presenta anomalías pero no fallas importantes, puesto que sigue realizando sus tareas productivas, pero no las realiza con la misma capacidad que un equipo en óptimas condiciones; en cambio un equipo averiado no puede desarrollar trabajo bajo ninguna circunstancia.

Además el costo que implica la gestión y el desarrollo del mantenimiento no debe ser exagerada, más bien debe ser acorde con los objetivos propios del mantenimiento, pero sin denotar un costo mayor que implicaría el reemplazo por maquinaria nueva.

### **4.1.4 Ingresos y costos del proyecto**

La ingeniería de un proyecto industrial tiene por objeto llenar una doble función.

Primero: aportar la información que permita hacer una evaluación económica del proyecto.

Segundo: la de establecer las bases técnicas sobre las que se construirá e instalará el proyecto, en caso que se demuestre ser económicamente atractivo.

## **4.2 Ahorros de la energía eléctrica y térmica**

Como medio de ahorro de energía la cogeneración permite reducir los costos de energía eléctrica y térmica; utiliza las emanaciones de calor residual y las convierte en energía eléctrica o térmica, la tendencia es al reemplazar parte de los consumos a las compañías eléctricas de suministro como CFE (Comisión Federal de Electricidad) y/o gas natural o diesel; esto se traduce en reducción de costos energéticos eléctricos y térmicos

A través de un análisis de cualquier sistema térmico, se puede observar la existencia de pérdida de energía térmica, la cual a su vez demanda una mayor cantidad de energía eléctrica para ser producida; la corrección de estos problemas, incrementa la eficiencia de la energía térmica y reduce los registros de demanda eléctrica; obteniendo así un substancial ahorro.

#### **4.2.1 Factura eléctrica**

El uso de la energía eléctrica en forma intensiva representa un gasto de gran importancia en la industria, una forma de poder ofrecer productos a precios competitivos es hacer énfasis en la reducción de costos y en el crecimiento de la productividad.

La forma de reducir los costos energéticos en las industrias es a través de las políticas de ahorro y uso eficiente de la energía; estas políticas enfocadas al uso racional de la energía eléctrica se refieren a programas de sustitución de tecnologías, reingeniería del proceso, administración de la demanda, programas de monitoreo de consumos y mantenimiento, en coordinación con los procesos administrativos y de producción, a fin de optimizar los consumos y con ello los costos por el uso de la energía eléctrica.

El precio pagado por los consumos eléctricos dependerá de la zona geográfica, estación del año, tipo de industria, tensión de suministro, factor de potencia, horas pico, horas base y cantidad consumida.

#### **4.2.2 Factura térmica**

La generación<sup>34</sup> del vapor de proceso en la industria requiere para cubrir sus requerimientos de plantas de generación que van desde los 150 kg/h (10 Caballos Caldera) hasta las 36 ton/h (2300 CC) en presiones desde 1 hasta 42 kg/cm<sup>2</sup>.

Mayoritariamente con vapor saturado y en aplicaciones muy específicas con sobrecalentado, las inversiones en instalación y adquisición de los equipos, así como sus costos de operación y mantenimiento son variados y dependen tanto de la capacidad como de las condiciones de trabajo, tipo de sistema y costo del combustible.

Con estos datos más la proyección de los costos de capacidad adquirida e instalación a través del tiempo y con los costos futuros de mantenimiento y operación, evaluados con una TREMA y los parámetros típicos de operación de estas calderas se obtiene el costo de generación de kg de vapor.

### **4.3 Indicadores económicos de viabilidad**

#### **4.3.1 Tasa interna de retorno (TIR)**

La tasa interna de rendimiento, también conocida como tasa interna de retorno, es un indicador financiero que mide el rendimiento de los fondos que se pretenden invertir en un proyecto, es la tasa que iguala la suma de los flujos descontados a la inversión inicial; en el cual se supone que el dinero que se gana año con año, se reinvierte en su totalidad<sup>35</sup>.

---

<sup>34</sup> Notas de cogeneración, Gabriel León de los Santos, UNAM, consultado el 28 de mayo de 2011.

<sup>35</sup> Evaluación económica, Facultad de Economía, UNAM, consultado el 28 de mayo de 2011.

De tal manera que se trata de la tasa de rendimiento generada en el interior del proyecto por medio de la inversión

Se determina por medio de tanteos (prueba y error) hasta que la tasa de interés haga igual la suma de los flujos descontados, a la inversión inicial; los criterios para decidir la aceptación o rechazo de un proyecto por este método se muestran a continuación.

- Si la tasa TIR < a la tasa mínima aceptable de rendimiento del proyecto (TMAR), se rechaza, ya que el proyecto genera menos beneficios que el interés pagado por la banca, ante lo cual sería más atractivo depositar el monto de los recursos disponibles en el banco o bien, optar por una alternativa de inversión rentable.
- Si la TIR = a la tasa mínima aceptable de rendimiento del proyecto, el proyecto es indiferente; de tal manera que los beneficios del proyecto sólo se pagarán los costos.
- Si la TIR > a la tasa mínima aceptable de rendimiento del proyecto, el proyecto se acepta; lo cual significa que el beneficio real que se obtiene con el proyecto es mayor a la tasa de interés que pagan los bancos.

#### **4.3.2 Valor presente neto (VPN) o valor actual neto (VAN)**

El valor actual neto o presente neto es uno de los criterios económicos más ampliamente utilizado en la evaluación de proyectos de inversión, que consiste en determinar la equivalencia en el tiempo cero de los flujos de efectivo que genera un proyecto y compara esa equivalencia con el desembolso inicial.

Para su cálculo es preciso contar con una tasa de descuento o bien, con un factor de actualización al cual se le descuenta el valor del dinero en el futuro a su equivalente en el presente; y una vez aplicado a la tasa de descuento, los flujos resultantes que se traen al tiempo cero (presente) se llaman flujos descontados.

De tal modo que, el valor actual neto es precisamente el valor monetario que resulta de restar la suma de los flujos descontados a la inversión inicial, lo que significa comparar todas las ganancias esperadas contra los desembolsos necesarios para producir esas ganancias en el tiempo cero (presente). Con el método se define la aceptación o rechazo del proyecto de acuerdo con los siguientes criterios de evaluación.

Si el VAN es < 0, se rechaza el proyecto.

Si el VAN es = 0, el proyecto es indiferente.

Si el VAN es > 0, se acepta el proyecto.

Para el cálculo del valor actual neto de este proyecto en particular, se toma como factor de actualización el rendimiento que ofrecen los CETES a 28 días (Tasa líder), porcentaje considerado como tasa mínima aceptable de rendimiento (TMAR); ya que tal porcentaje representa un costo de oportunidad para el proyecto, es decir, un parámetro que facilita la decisión de elegir lo más conveniente (llevar a cabo la puesta en marcha del proyecto –si el rendimiento de la inversión es mayor a la TMAR- o bien, destinar el monto de los recursos disponibles a otra alternativa de inversión en caso de no serlo)<sup>36</sup>

---

<sup>36</sup> Evaluación Económica, Facultad de Economía UNAM, consultado el 28 de mayo de 2011.

### 4.3.3 Beneficio-costo (B/C)

La relación costo-beneficio es un indicador que señala la utilidad que se obtendrá con el costo que representa la inversión, es decir, que por cada peso invertido, cuánto es lo que se gana.

El resultado de la relación beneficio-costo es un índice que representa el rendimiento obtenido por cada peso invertido.

- Si la relación B/C es < 1, se rechaza el proyecto.
- Si la relación B/C es = 1, la decisión de invertir es indiferente.
- Si la relación B/C es > 1, se acepta el proyecto.

Lo anterior significa que cuando el índice resultante de la relación beneficio-costo sea mayor o menor a la unidad, es la rentabilidad o pérdida que tiene un proyecto por cada peso invertido en él.

El beneficio-costo del proyecto, se obtendrá mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

$$\text{Relación } \frac{B}{C} = \frac{\text{Beneficios obtenidos}}{\text{Costos incurridos}} \dots\dots\dots \text{Ec. 4.1}$$

### 4.3.4 Periodo de recuperación

El periodo de recuperación es el tiempo necesario para que los beneficios netos de un proyecto amorticen el capital invertido, su primordial utilidad es la de conocer en qué tiempo, una inversión genera los recursos suficientes para igualar el monto de la inversión inicial

Para obtener el periodo de recuperación es necesario obtener el flujo acumulado en el horizonte de planeación del proyecto, se utiliza la siguiente fórmula:

$$PR = n - 1 + \frac{(FA)n - 1}{(F)n} \dots\dots\dots \text{Ec. 4.2}$$

Donde:

n: Año en el que cambia de signo el flujo acumulado.

(FA)n-1: Flujo neto de efectivo acumulado en el año previo a n.

(F)n: Flujo neto de efectivo en el año n.

### 4.3.5 Análisis económico entre costo convencional vs cogeneración

#### Costo convencional.

Tomando en cuenta los siguientes datos:

Capacidad térmica = 150 CC

Capacidad eléctrica = 82.9 KW

Factor de planta térmico = 0.35

Horas de operación con factor planta

$$24 \frac{\text{horas}}{\text{día}} \times 365 \frac{\text{días}}{\text{año}} = 8,760 \frac{\text{horas}}{\text{año}} \dots\dots\dots \text{Ec. 4.3}$$

Factor de demanda eléctrico = 0.8

Horas de consumo con factor de demanda

$$24 \frac{\text{horas}}{\text{día}} \times 365 \frac{\text{días}}{\text{año}} = 8,760 \frac{\text{horas}}{\text{año}}$$

Consumo térmico: 150 CC (capacidad térmica)

Datos:

9.81 kW/CC  
1 CC = 15.65 kg/h

Para obtener Kilowatt-térmicos se tiene:

$$150 \text{ CC} \times 9.81 \frac{\text{KW}}{\text{CC}} = 1471.5 \text{ KWt} \dots\dots\dots \text{Ec. 4.4}$$

Producción vapor real:

$$150 \text{ CC} \times \left(\frac{15.66}{1}\right) \left(\frac{\text{kg/hr}}{\text{CC}}\right) = 2,349 \frac{\text{kg}}{\text{hr}} \dots\dots\dots \text{Ec. 4.5}$$

Demanda térmica:

$$\frac{1,471.5 \text{ KWt}}{1,000} = 1.47 \text{ MWt}$$

Demanda eléctrica:

$$\frac{82.9 \text{ KW}e}{1,000} = 0.0829 \text{ MW}e$$

**Tabla 4.2 Datos generales**

combustibles liquidos	consumo en calderas industriales			precio	
	pci MJ/Kg	efic. 78 %			
oil 6	40.6	1.054	1/hCC	2.2	\$/l
oil 4	42.2	1.082	1/hCC	4.44	\$/l
oil 2	42.6	1.097	1/hCC	5	\$/l

9.89 KW/CC  
15.65 KG/H 1CC

**Fuente: Elaboración propia**

El precio del combustible radica entre los siguientes valores:

$$\text{Oil 4} = (0.8)(5 + 0.2)(2.2) = 4.44$$

Precio medio tarifa eléctrica (\$/KWh): Con un inicio de 0.92 en el primer año (2011) y tomando en cuenta un incremento de 1.03 por año, se tiene:

$$(0.92)(1.03) = 0.95 \left(\frac{\$}{\text{KWh}}\right) \text{ para el año 2012}$$

$$(0.95)(1.03) = 0.98\left(\frac{\$}{KWh}\right) \text{ para el año 2013}$$

Precio de combustible gasóleo (\$): De la tabla xxx considerando el combustible Oil 4, también se considera un incremento del 1.03 por año, entonces se tiene:

$$Oil\ 4 = (0.8)(5 + 0.2)(2.2) = 4.44 \times 1.03 = \$ 4.57 \text{ en el primer año (2011)}$$

$$Oil\ 4 = 4.57 \times 1.03 = \$ 4.71 \text{ para el año 2012}$$

$$Oil\ 4 = 4.71 \times 1.03 = \$ 4.85 \text{ para el año 2013}$$

Factor de planta térmico: Tomando en cuenta el primer factor de 0.35 e incrementos de 0.998 por año se tiene:

$$\text{Factor de planta térmico} = 0.35 \times (0.998) = 0.3493 \text{ en el primer año (2011)}$$

$$\text{Factor de planta térmico} = 0.3493 \times (0.998) = 0.3486 \text{ para el año 2012}$$

$$\text{Factor de planta térmico} = 0.3486 \times (0.998) = 0.3479 \text{ para el año 2013}$$

Generación KWht (Kilowatt-hora-térmicos): Se toman en cuenta los siguientes términos para realizar los cálculos.

$$(\text{consumo térmico}) \times (\text{factor de planta térmico}) \times (\text{horas de operación}) \dots \dots \dots \text{Ec. 4.6}$$

$$11,471.5\ KWt \times 0.3493 \times 8,760 \frac{\text{horas}}{\text{Año}} = 4,502,596\ KWht \text{ en el primer año 2011}$$

$$11,471.5\ KWt \times 0.3486 \times 8,760 \frac{\text{horas}}{\text{Año}} = 4,493,591\ KWht \text{ para el año 2012}$$

$$11,471.5\ KWt \times 0.3479 \times 8,760 \frac{\text{horas}}{\text{Año}} = 4,484,603\ KWht \text{ para el año 2013}$$

Costo de combustible: Se consideran los siguientes factores para los cálculos y de acuerdo a los incrementos que presenta el gasóleo la tendencia es en aumento.

$$\text{Costo de combustible} = \left( \frac{\text{Generación KWht}}{9.89 \frac{KW}{CC}} \right) \times \left( \frac{\text{consumo}}{\text{en calderas}} \right) \times (\text{precio gasóleo}) \dots \dots \dots \text{Ec. 4.7}$$

Para el primer año 2011:

$$\left( \frac{4,502,596\ KWht}{9.89 \frac{KW}{CC}} \right) \times \left( 1.082 \frac{1}{hCC} \right) \times (\$ 4.57) = \$ 2,252,756$$

Costo operación y mantenimiento térmico (O&M): Se determina tomando en cuenta solo el 2 % del total del costo del combustible por lo que:

$$O\&M = 0.02 \times (\text{costo de combustible}) \dots \dots \dots \text{Ec. 4.8}$$

Para el año 2011.

$$O\&M = 0.02 \times (\$ 2,252,756) = \$ 45,055$$

Factor de demanda eléctrico: Con un índice de 1.002 en el primer año se tiene:

Para el primer año 2011

$$\begin{aligned} \text{Factor de demanda} &= \text{Factor de demanda eléctrico} \times (1.002) \dots\dots\dots \text{Ec. 4.9} \\ \text{Factor de demanda} &= 0.8 \times (1.002) = 0.802 \end{aligned}$$

$$\text{Factor de demanda} = 0.802 \times (1.002) = 0.803 \text{ para el año 2012}$$

$$\text{Factor de demanda} = 0.803 \times (1.002) = 0.805 \text{ para el año 2013}$$

Consumo eléctrico (KWhe)(Kilowatt-hora-eléctricos): para este cálculo se utilizan los siguientes términos, Capacidad eléctrica (Cap.Elec.), Factor de demanda eléctrico (fde) y Horas de consumo factor planta (Hfp); por lo que se tiene para el primer año :

$$\text{Consumo eléctrico} = \text{Cap. Elec.} \times \text{fde} \times \text{Hfp} \dots\dots\dots \text{Ec. 4.10}$$

$$\text{Consumo eléctrico} = (82.9 \text{ KW}) \times (0.802) \times \left(8,760 \frac{\text{horas}}{\text{año}}\right) = 582,125 \text{ kWhe}$$

Para el año 2012:

$$\text{Consumo eléctrico} = (82.9 \text{ KW}) \times (0.803) \times \left(8,760 \frac{\text{horas}}{\text{año}}\right) = 583,289 \text{ kWhe}$$

Para el año 2013:

$$\text{Consumo eléctrico} = (82.9 \text{ KW}) \times (0.805) \times \left(8,760 \frac{\text{horas}}{\text{año}}\right) = 584,456 \text{ kWhe}$$

Costo factura eléctrica: Para este cálculo se consideran los siguientes términos.

$$\text{Costo} = \text{consumo eléctrico} \times \text{precio medio tarifa eléctrica} \dots\dots\dots \text{Ec. 4.11}$$

Para el primer año 2011

$$\text{Costo 2011} = (582,125 \text{ kWhe}) \times (\$ 0.92) = \$ 535,555$$

$$\text{Costo 2012} = (582,125 \text{ kWhe}) \times (\$ 0.95) = \$ 552,725 \text{ para el año 2012}$$

$$\text{Costo 2013} = (582,125 \text{ kWhe}) \times (\$ 0.98) = \$ 570.445 \text{ para el año 2013}$$

Costo total convencional: Por último para este cálculo se toman en cuenta los siguientes términos.

$$\text{Costo total} = \text{Costo combustible} \times \text{Costo factura eléctrica} \times \text{Costo OM} \dots\dots\dots \text{Ec. 4.12}$$

Para el primer año 2011

$$\text{Costo total 2011} = (\$ 2,252,756) \times (\$ 535,555) \times (\$ 45,055) = \$ 2,833,366$$

Para el año 2012

$$\text{Costo total 2012} = (\$ 2,315,698) \times (\$ 552,725) \times (\$ 46,314) = \$ 2,914,737$$

Para el año 2013

$$\text{Costo total 2013} = (\$ 2,380,398) \times (\$ 570,445) \times (\$ 47,608) = \$ 2,998,452$$

En resumen se tiene:

**Tabla 4.3 : Resumen de cálculos del sistema convencional parte 1**

<b>SISTEMA CONVENCIONAL</b>							
N°	Año	Precio medio \$/KWh	Precio combustible	Generación KWh	Factor planta térmico	Costo combustible	Costo O&M térmico
1	2011	\$ 0.92	\$ 4.57	4502595.762	0.3493	\$ 2,252,755.83	\$ 45,055.12
2	2012	\$ 0.95	\$ 4.71	4493590.57	0.3486014	\$ 2,315,697.83	\$ 46,313.96
3	2013	\$ 0.98	\$ 4.85	4484603.389	0.347904197	\$ 2,380,398.42	\$ 47,607.97
4	2014	\$ 1.01	\$ 5.00	4475634.183	0.347208389	\$ 2,446,906.76	\$ 48,938.14
5	2015	\$ 1.04	\$ 5.15	4466682.914	0.346513972	\$ 2,515,273.33	\$ 50,305.47
6	2016	\$ 1.07	\$ 5.30	4457749.548	0.345820944	\$ 2,585,550.07	\$ 51,711.00
7	2017	\$ 1.10	\$ 5.46	4448834.049	0.345129302	\$ 2,657,790.34	\$ 53,155.81
8	2018	\$ 1.13	\$ 5.62	4439936.381	0.344439044	\$ 2,732,049.00	\$ 54,640.98
9	2019	\$ 1.17	\$ 5.79	4431056.508	0.343750166	\$ 2,808,382.45	\$ 56,167.65
10	2020	\$ 1.20	\$ 5.97	4422194.395	0.343062665	\$ 2,886,848.65	\$ 57,736.97
11	2021	\$ 1.24	\$ 6.15	4413350.007	0.34237654	\$ 2,967,507.21	\$ 59,350.14
12	2022	\$ 1.27	\$ 6.33	4404523.307	0.341691787	\$ 3,050,419.36	\$ 61,008.39
13	2023	\$ 1.31	\$ 6.52	4395714.26	0.341008403	\$ 3,135,648.07	\$ 62,712.96
14	2024	\$ 1.35	\$ 6.72	4386922.831	0.340326386	\$ 3,223,258.08	\$ 64,465.16
15	2025	\$ 1.39	\$ 6.92	4378148.986	0.339645734	\$ 3,313,315.91	\$ 66,266.32
16	2026	\$ 1.43	\$ 7.12	4369392.688	0.338966442	\$ 3,405,889.96	\$ 68,117.80
17	2027	\$ 1.48	\$ 7.34	4360653.902	0.338288509	\$ 3,501,050.52	\$ 70,021.01
18	2028	\$ 1.52	\$ 7.56	4351932.595	0.337611932	\$ 3,598,869.88	\$ 71,977.40
19	2029	\$ 1.57	\$ 7.79	4343228.729	0.336936708	\$ 3,699,422.30	\$ 73,988.45
20	2030	\$ 1.61	\$ 8.02	4334542.272	0.336262835	\$ 3,802,784.16	\$ 76,055.68

Fuente. Elaboración propia

**Tabla 4.4: Resumen de cálculos del sistema convencional parte 2**

<b>SISTEMA CONVENCIONAL</b>					
N°	Año	Consumo KWh	Factor de demanda	Costo Fact. Eléc.	Costo total convencional
1	2011	582125.1264	0.8016	\$ 535,555.12	\$ 2,833,366.06
2	2012	583289.3767	0.8032032	\$ 552,725.01	\$ 2,914,736.80
3	2013	584455.9554	0.80480961	\$ 570,445.38	\$ 2,998,451.77
4	2014	585624.8673	0.80641923	\$ 588,733.86	\$ 3,084,578.75
5	2015	586796.1171	0.80803206	\$ 607,608.66	\$ 3,173,187.46
6	2016	587969.7093	0.80964813	\$ 627,088.60	\$ 3,264,349.67
7	2017	589145.6487	0.81126742	\$ 647,193.06	\$ 3,358,139.20
8	2018	590323.94	0.81288996	\$ 667,942.07	\$ 3,454,632.05
9	2019	591504.5879	0.81451574	\$ 689,356.29	\$ 3,553,906.39
10	2020	592687.5971	0.81614477	\$ 711,457.05	\$ 3,656,042.68
11	2021	593872.9723	0.81777706	\$ 734,266.37	\$ 3,761,123.72
12	2022	595060.7182	0.81941261	\$ 757,806.95	\$ 3,869,234.69
13	2023	596250.8396	0.82105144	\$ 782,102.24	\$ 3,980,463.27
14	2024	597443.3413	0.82269354	\$ 807,176.43	\$ 4,094,899.68
15	2025	598638.228	0.82433893	\$ 833,054.51	\$ 4,212,636.74
16	2026	599835.5045	0.82598761	\$ 859,762.24	\$ 4,333,769.99
17	2027	601035.1755	0.82763958	\$ 887,326.21	\$ 4,458,397.75
18	2028	602237.2458	0.82929486	\$ 915,773.89	\$ 4,586,621.17
19	2029	603441.7203	0.83095345	\$ 945,133.60	\$ 4,718,544.35
20	2030	604648.6037	0.83261536	\$ 975,434.59	\$ 4,854,274.43

Fuente: elaboración propia

**Tabla 4.5: Inversión total**

inversión sistema energético						
capacidad térmica	150 CC	\$	484.20	dol/CC		
		\$	72,630.00	dol		
			12 meses	\$	871,560.00	inversión

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4.6: Costos de Adquisición e instalación de calderas TH 150 psi.**

CC	Caldera promedio	Equipo auxiliar	Equipo sistema	Total instalación	total sistema	U\$/CC instalación
20	\$15,834	\$6,041	\$17,500	\$5,622	\$23,122	\$1,156.10
40	\$21,719	\$6,992	\$22,969	\$7,231	\$30,200	\$755.00
60	\$28,657	\$8,788	\$29,956	\$9,212	\$39,168	\$652.80
80	\$41,694	\$9,856	\$41,240	\$12,321	\$53,561	\$669.50
100	\$44,940	\$10,617	\$44,445	\$13,065	\$57,510	\$575.10
125	\$52,753	\$11,832	\$51,668	\$14,855	\$66,522	\$532.20
150	\$58,215	\$12,618	\$56,667	\$15,971	\$72,637	\$484.20
200	\$65,321	\$13,474	\$63,036	\$17,380	\$80,417	\$402.10
250	\$78,760	\$17,388	\$76,919	\$20,607	\$97,526	\$390.10
300	\$92,242	\$18,792	\$88,827	\$23,181	\$112,008	\$373.40
350	\$96,522	\$19,599	\$92,897	\$23,732	\$116,629	\$333.20
400	\$107,495	\$22,368	\$103,890	\$25,853	\$129,743	\$324.40
500	\$121,199	\$26,311	\$118,008	\$28,555	\$146,563	\$293.10
600	\$135,177	\$29,067	\$131,396	\$30,925	\$162,321	\$270.50
700	\$146,910	\$32,186	\$143,277	\$32,809	\$176,086	\$251.60
800	\$152,648	\$34,815	\$149,970	\$33,462	\$183,432	\$229.30

Fuente: Thermol energía sistemas y equipos

De los cálculos anteriores y tomando en cuenta la tabla 4.3, se contempla una inversión del sistema energético donde se considera una caldera de capacidad 150 CC (Caballo de caldera), resultando que el costo es 484 dólares/CC

$$Inversión = \left( 484 \frac{\text{dol}}{\text{CC}} \right) \times (150 \text{ CC}) = \$ 72,630$$

La inversión total y tomando en cuenta el año (12 meses) es:

$$Inversión \text{ total} = (\$72,630) \times (12 \text{ meses}) = \$ 871,560$$

### Esquema CHP con turbina de gas syngas aire

Tomando en cuenta los siguientes datos:

- Capacidad bruta = 543.2 KW
- Capacidad neta = 488.7 KW
- Excedente eléctrico= 405.8 KW
- Consumo de combustible= 1934.4 KW
- Flujo de biomasa a gasificador = 0.1235 KG/S
- Demanda térmica = 150 CC
- Demanda eléctrica = 82.9 KW
- Factor de planta térmico= 0.35

Horas de operación con factor planta

$$24 \frac{\text{horas}}{\text{día}} \times 365 \frac{\text{días}}{\text{año}} = 8,760 \frac{\text{horas}}{\text{año}} \dots \dots \dots \text{Ec. 4.13}$$

Factor de demanda eléctrico = 0.8

Horas de consumo con factor de demanda

$$24 \frac{\text{horas}}{\text{día}} \times 365 \frac{\text{días}}{\text{año}} = 8,760 \frac{\text{horas}}{\text{año}}$$

Consumo térmico: 150 CC (capacidad térmica)

Datos: 9.81 KW/CC

1 CC = 15.65 kg/h

Para obtener Kilowatt-térmicos se tiene:

$$150 \text{ CC} \times 9.81 \frac{\text{KW}}{\text{CC}} = 1,471.5 \text{ KWt}$$

Producción vapor real:

$$150 \text{ CC} \times \frac{15.66 \text{ KG/H}}{1 \text{ CC}} = 2,349 \text{ kg/h}$$

Demanda térmica:

$$\frac{1,471.5 \text{ KWt}}{1000} = 1.47 \text{ MWt}$$

Demanda eléctrica:

$$\frac{82.9 \text{ KWe}}{1000} = 0.0829 \text{ MWe}$$

Haciendo referencia a la tabla xxx se considera el combustible oil 4, por lo que se tiene:

$$\text{Oil 4} = (0.8)(5 + 0.2)(2.2) = 4.44$$

Precio a la transferencia \$/KWh: Para poder realizar los cálculos se necesitan considerar los siguientes términos:

Precio tarifa media eléctrica = 0.92 \$/KWh

Factor de demanda eléctrica = 0.8

$$\text{Precio transferencia} = (\text{Precio tarifa eléct.}) \times (0.6) \times \text{Factor de demanda eléct.} \dots \dots \text{Ec. 4.14}$$

Para el primer año 2011

$$\text{Precio año 2011} = (0.92) \times (0.6) \times (0.8) = 0.44$$

Para los siguientes años se considera un incremento del 1.03, por lo que se tiene:

$$\text{Precio año 2012} = (0.44) \times (1.03) = 0.45$$

$$\text{Precio año 2013} = (0.45) \times (1.03) = 0.47$$

Precio del residuo: Se considera como valor inicial \$ 0.08, pero también se toma en cuenta el aumento de 1.03 por año

$$\text{Precio del residuo 2011} = \frac{80}{1000} = \$ 0.08$$

$$\text{Precio del residuo 2012} = (0.08) \times (1.03) = \$ 0.08$$

De lo anterior se puede observar un cambio en el precio hasta considerar el año 2014 con un incremento de \$ 0.09

Factor de planta eléctrico: Se considera el factor de demanda eléctrico = 0.86 con otro factor de 0.998 por año, por lo que se tiene.

$$\text{Factor de planta eléctrico} = \text{Factor de demanda eléctrico} \times (0.998) \dots \dots \dots \text{Ec. 4.15}$$

Para el primer año 2011

$$\begin{aligned} \text{Factor de planta eléctrico 2011} &= (0.86) \times (0.998) = 0.858 \\ \text{Factor de planta eléctrico 2012} &= (0.858) \times (0.998) = 0.857 \\ \text{Factor de planta eléctrico 2013} &= (0.857) \times (0.998) = 0.855 \end{aligned}$$

Generación eléctrica KWhe: Se toman en cuenta los siguientes conceptos, el único factor que cambia con los años es el Factor de planta eléctrico, por lo que se tiene.

Capacidad neta = 488.7 KW  
 Factor de planta eléctrico = 0.858  
 Horas de operación con factor de planta = 8,760 h/año

Para el primer año 2011

$$\text{Generación eléctrica 2011} = \text{cap. neta.} \times \text{factor de planta} \times \text{horas op} \dots \dots \dots \text{Ec. 4.16}$$

$$\begin{aligned} \text{Gen. eléc. 2011} &= (488.7 \text{ KW}) \times (0.858) \times \left(8760 \frac{\text{h}}{\text{año}}\right) = 3,674,307 \text{ KWhe} \\ \text{Gen. eléc. 2012} &= (488.7 \text{ KW}) \times (0.857) \times \left(8760 \frac{\text{h}}{\text{año}}\right) = 3,666,958 \text{ KWhe} \\ \text{Gen. eléc. 2013} &= (488.7 \text{ KW}) \times (0.855) \times \left(8760 \frac{\text{h}}{\text{año}}\right) = 3,659,624 \text{ KWhe} \end{aligned}$$

Costo del combustible: Se consideran los siguientes conceptos.

Flujo de biomasa a gasificador = 0.1235 kg/s  
 Horas de operación con factor de planta = 8,760 h/año  
 Factor de planta eléctrico = 0.858  
 Precio a la transferencia = 0.44 \$/KWh

Por lo que s tiene:

$$\text{Costo 2011} = \text{Flujo biomasa} \times \text{Horas op. f. p.} \times \text{f. p. eléc.} \times \text{precio} \dots \dots \dots \text{Ec. 4.17}$$

$$\begin{aligned} \text{Costo 2011} &= \left(0.1235 \frac{\text{kg}}{\text{s}}\right) (3600 \text{ s}) \left(8760 \frac{\text{h}}{\text{año}}\right) (0.858) \left(0.44 \frac{\text{S}}{\text{KWh}}\right) = \$ 267,419 \\ \text{Costo 2012} &= \left(0.1235 \frac{\text{kg}}{\text{s}}\right) (3600 \text{ s}) \left(8760 \frac{\text{h}}{\text{año}}\right) (0.857) \left(0.45 \frac{\text{S}}{\text{KWh}}\right) = \$ 274,891 \end{aligned}$$

$$\text{Costo 2013} = \left(0.1235 \frac{\text{kg}}{\text{s}}\right) (3600 \text{ s}) \left(8760 \frac{\text{h}}{\text{año}}\right) (0.855) \left(0.47 \frac{\text{S}}{\text{KWh}}\right) = \$ 282,571$$

Costo de operación y mantenimiento O&M eléctrico: Se considera en un principio el 45 % del costo del combustible, lo que da un factor de 0.045

Para el primer año 2011

$$\begin{aligned} \text{O\&M} &= \text{Factor} \times \text{costo del combustible por año} \dots \dots \dots \text{Ec. 4.18} \\ \text{O\&M 2011} &= (0.045) \times (\$ 267,419) = \$ 12,034 \\ \text{O\&M 2012} &= (0.045) \times (\$ 274,891) = \$ 12,370 \\ \text{O\&M 2013} &= (0.045) \times (\$ 282,571) = \$ 12,716 \end{aligned}$$

Factor de demanda eléctrico: Se conoce el Factor de demanda eléctrico = 0.86 y considerando incrementos anuales de 1.002, se tiene.

Para el primer año 2011

$$\begin{aligned} \text{factor de demanda 2011} &= \text{factor demanda eléctrico} \times 1.002 \dots \dots \dots \text{Ec. 4.19} \\ \text{factor de demanda 2011} &= (0.86) \times (1.002) = 0.862 \\ \text{factor de demanda 2012} &= (0.862) \times (1.002) = 0.863 \\ \text{factor de demanda 2013} &= (0.863) \times (1.002) = 0.865 \end{aligned}$$

Consumo eléctrico KWhe: Para este cálculo se consideran los siguientes datos.

Demanda eléctrica = 82.9 KW  
 Factor de demanda eléctrico por año = 0.862  
 Horas de consumo con factor de demanda = 8,760 h/año

$$\begin{aligned} \text{Consumo} &= \text{demanda eléctrica} \times \text{factor de demanda} \times \text{horas de consumo} \dots \dots \dots \text{Ec. 4.20} \\ \text{Consumo 2011} &= (82.9 \text{ KW}) \times (0.862) \times \left(8760 \frac{\text{h}}{\text{año}}\right) = 625,785 \text{ KWhe} \\ \text{Consumo 2012} &= (82.9 \text{ KW}) \times (0.863) \times \left(8760 \frac{\text{h}}{\text{año}}\right) = 627,036 \text{ KWhe} \\ \text{Consumo 2013} &= (82.9 \text{ KW}) \times (0.865) \times \left(8760 \frac{\text{h}}{\text{año}}\right) = 628,290 \text{ KWhe} \end{aligned}$$

Excedente eléctrico: Se determina mediante los siguientes conceptos.

Generación eléctrica = 3,674,307 KWhe  
 Consumo eléctrico = 625,785 KWhe

$$\begin{aligned} \text{Excedente eléctrico} &= \text{Generación eléctrica} - \text{Consumo eléctrico} \dots \dots \dots \text{Ec. 4.21} \\ \text{Exc. eléc. 2011} &= (3,674,307 \text{ KWhe}) - (625,785 \text{ KWhe}) = 3,048,522.47 \text{ KWhe} \\ \text{Exc. eléc. 2012} &= (3,666,958 \text{ KWhe}) - (627,036 \text{ KWhe}) = 3,039,922.29 \text{ KWhe} \\ \text{Exc. eléc. 2013} &= (3,659,624 \text{ KWhe}) - (628,290 \text{ KWhe}) = 3,031,334.30 \text{ KWhe} \end{aligned}$$

Ingreso por venta de excedentes: estos ingresos se calculan por medio de los siguientes conceptos:

Excedente eléctrico = \$ 3,048,522.47  
 Precio a la transferencia = 0.44 \$/KWh

$$\begin{aligned} \text{Ingreso por venta} &= \text{Excedente eléctrico} \times \text{precio} \\ \text{Ingreso por venta 2011} &= (3,048,522.47 \text{ KWhe}) \times \left(0.44 \frac{\$}{\text{KWh}}\right) = \$ 1,346,228 \\ \text{Ingreso por venta 2012} &= (\$ 3,039,922.29 \text{ KWhe}) \times \left(0.45 \frac{\$}{\text{KWh}}\right) = \$ 1,382,703 \\ \text{Ingreso por venta 2013} &= (\$ 3,031,334.30 \text{ KWhe}) \times \left(0.47 \frac{\$}{\text{KWh}}\right) = \$ 1,420,160 \end{aligned}$$

Ingreso total CHP: Se determina por la diferencia que existe entre lo conceptos siguientes.

Ingreso por venta de excedentes = \$ 1,346,228  
 Costo de combustible = \$ 267,419  
 Costo O&M = \$ 12,034

$$\begin{aligned} \text{Ingreso CHP} &= \text{Ingreso venta} - \text{costo combustible} - \text{costo O\&M} \dots \dots \dots \text{Ec. 4.22} \\ \text{Ingreso CHP 2011} &= (\$ 1,346,228) - (\$ 267,419) - (\$ 12,034) = \$ 1,066,774 \\ \text{Ingreso CHP 2012} &= (\$ 1,382,703) - (\$ 274,891) - (\$ 12,370) = \$ 1,095,442 \\ \text{Ingreso CHP 2013} &= (\$ 1,420,160) - (\$ 282,571) - (\$ 12,716) = \$ 1,124,873 \end{aligned}$$

Ahorro convencional vs CHP. Se obtiene de la suma de los siguientes conceptos

Costo total convencional por año  
 Ingreso total CHP por año

$$\begin{aligned} \text{Ahorro} &= \text{Costo conv.} + \text{ingreso total CHP} \dots \dots \dots \text{Ec. 4.23} \\ \text{Ahorro 2011} &= (\$ 2,833,366) + \$ 1,066,774 = \$ 3,900,141 \\ \text{Ahorro 2012} &= (\$ 2,914,737) + \$ 1,095,442 = \$ 4,010,178 \\ \text{Ahorro 2013} &= (\$ 2,998,452) + \$ 1,124,873 = \$ 4,123,125 \end{aligned}$$

De lo cálculos anteriores se considera una Inversión en el sistema energético en base CHP TG 544 KW y gasificador, con un costo por KW = 1300 Dol/KW y si la Capacidad bruta = 543.2 KW

$$\left(1300 \frac{\text{Dol.}}{\text{KW}}\right) (543.2 \text{ KW}) = 706,160 \text{ Dol.}$$

Por lo que la inversión total y considerando el transcurso del año (12 meses) se tiene

$$\text{Inversión total} = (\$ 706,160)(12 \text{ meses}) = \$ 8,473,920$$

Moneda corriente económico solo CHP.

De la inversión inicial y el resultado neto anual se tiene:

$$\begin{aligned} \text{Flujo neto 2011} &= (-\$8,473,920) + (\$1,066,774) = -\$ 7,407,146 \\ \text{Flujo neto 2012} &= (-\$7,407,146) + (\$1,095,442) = -\$ 6,311,704 \end{aligned}$$

**Tabla 4.7: Resultados obtenidos del sistema CHP + convencional parte 1**

<b>SISTEMA CHP + CONVENCIONAL</b>								
N°	Año	Precio \$/KWh	Precio residuo	Generación KWht	Factor planta eléctrico	Costo combustible	Costo O&M eléctrico	Consumo KWhe
1	2011	\$ 0.44	\$ 0.08	3674306.98	0.85928	\$ 267,419.17	\$ 12,033.86	625784.5109
2	2012	\$ 0.45	\$ 0.08	3666958.37	0.85656344	\$ 274,890.87	\$ 12,370.09	627036.0799
3	2013	\$ 0.47	\$ 0.08	3659624.45	0.854850313	\$ 282,571.32	\$ 12,715.71	628290.1521
4	2014	\$ 0.48	\$ 0.09	3652305.2	0.853140612	\$ 290,466.36	\$ 13,070.99	629546.7324
5	2015	\$ 0.50	\$ 0.09	3645000.59	0.851434331	\$ 298,581.99	\$ 13,436.19	630805.8258
6	2016	\$ 0.51	\$ 0.09	3637710.59	0.849731463	\$ 306,924.37	\$ 13,811.60	632067.4375
7	2017	\$ 0.53	\$ 0.10	3630435.17	0.848032	\$ 315,499.84	\$ 14,197.49	633331.5724
8	2018	\$ 0.54	\$ 0.10	3623174.3	0.846335936	\$ 324,314.90	\$ 14,594.17	634598.2355
9	2019	\$ 0.56	\$ 0.10	3615927.95	0.844643264	\$ 333,376.26	\$ 15,001.93	635867.432
10	2020	\$ 0.58	\$ 0.10	3608696.09	0.842953977	\$ 342,690.79	\$ 15,421.09	637139.1668
11	2021	\$ 0.59	\$ 0.11	3601478.7	0.841268069	\$ 352,265.57	\$ 15,851.95	638413.4452
12	2022	\$ 0.61	\$ 0.11	3594275.74	0.839585533	\$ 362,107.88	\$ 16,294.85	639690.2721
13	2023	\$ 0.63	\$ 0.11	3587087.19	0.837906362	\$ 372,225.17	\$ 16,750.13	640969.6526
14	2024	\$ 0.65	\$ 0.12	3579913.02	0.836230549	\$ 382,625.14	\$ 17,218.13	642251.5919
15	2025	\$ 0.67	\$ 0.12	3572753.19	0.834558088	\$ 393,315.69	\$ 17,699.21	643536.0951
16	2026	\$ 0.69	\$ 0.12	3565607.68	0.832888972	\$ 404,304.93	\$ 18,193.72	644823.1673
17	2027	\$ 0.71	\$ 0.13	3558476.47	0.831223194	\$ 415,601.21	\$ 18,702.05	646112.8136
18	2028	\$ 0.73	\$ 0.13	3551359.52	0.829560748	\$ 427,213.10	\$ 19,224.59	647405.0392
19	2029	\$ 0.75	\$ 0.14	3544256.8	0.827901626	\$ 439,149.44	\$ 19,761.72	648699.8493
20	2030	\$ 0.77	\$ 0.14	3537168.28	0.826245823	\$ 451,419.27	\$ 20,313.87	649997.249

Fuente. Elaboración propia

**Tabla 4.8: Resultados obtenidos del sistema CHP + convencional parte 2**

<b>SISTEMA CHP + CONVENCIONAL</b>							
N°	Año	Factor de demanda	Excedente eléctrico	Ingreso venta excedentes	Ingreso total CHP	Costo total convencional	Ahorro Conv. vs CHP
1	2011	0.86172	3048522.47	\$ 1,346,227.52	\$ 1,066,774.48	\$ 2,833,366.06	\$ 3,900,140.55
2	2012	0.86344344	3039922.29	\$ 1,382,702.57	\$ 1,095,441.62	\$ 2,914,736.80	\$ 4,010,178.41
3	2013	0.86517033	3031334.3	\$ 1,420,160.23	\$ 1,124,873.21	\$ 2,998,451.77	\$ 4,123,324.98
4	2014	0.86690067	3022758.47	\$ 1,458,626.79	\$ 1,155,089.44	\$ 3,084,578.75	\$ 4,239,668.19
5	2015	0.86863447	3014194.76	\$ 1,498,129.22	\$ 1,186,111.04	\$ 3,173,187.46	\$ 4,359,298.50
6	2016	0.87037174	3005643.15	\$ 1,538,695.22	\$ 1,217,959.26	\$ 3,264,349.67	\$ 4,482,308.92
7	2017	0.87211248	2997103.59	\$ 1,580,353.23	\$ 1,250,655.90	\$ 3,358,139.20	\$ 4,608,795.10
8	2018	0.87385671	2988576.06	\$ 1,623,132.42	\$ 1,284,223.34	\$ 3,454,632.05	\$ 4,738,855.39
9	2019	0.87560442	2980060.52	\$ 1,667,062.74	\$ 1,318,684.55	\$ 3,553,906.39	\$ 4,872,590.94
10	2020	0.87735563	2971556.93	\$ 1,712,174.96	\$ 1,354,063.08	\$ 3,656,042.68	\$ 5,010,105.76
11	2021	0.87911034	2963065.25	\$ 1,758,500.63	\$ 1,390,393.10	\$ 3,761,123.72	\$ 5,151,506.82
12	2022	0.88086856	2954585.47	\$ 1,806,072.14	\$ 1,427,669.41	\$ 3,869,234.69	\$ 5,296,904.10
13	2023	0.8826303	2946117.54	\$ 1,854,922.76	\$ 1,465,947.46	\$ 3,980,463.27	\$ 5,446,410.73
14	2024	0.88439556	2937661.42	\$ 1,905,086.62	\$ 1,505,243.35	\$ 4,094,899.68	\$ 5,600,143.02
15	2025	0.88616435	2929217.1	\$ 1,956,598.75	\$ 1,545,583.85	\$ 4,212,636.74	\$ 5,758,220.59
16	2026	0.88793668	2920784.52	\$ 2,009,495.11	\$ 1,586,996.46	\$ 4,333,769.99	\$ 5,920,766.45
17	2027	0.88971255	2912363.66	\$ 2,063,812.61	\$ 1,629,509.35	\$ 4,458,397.75	\$ 6,087,907.10
18	2028	0.89149198	2903954.48	\$ 2,119,589.15	\$ 1,673,151.46	\$ 4,586,621.17	\$ 6,259,772.63
19	2029	0.89327496	2895556.95	\$ 2,176,863.61	\$ 1,717,952.45	\$ 4,718,544.35	\$ 6,436,496.80
20	2030	0.89506151	2887171.03	\$ 2,235,675.90	\$ 1,763,942.76	\$ 4,854,274.43	\$ 6,618,217.19

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4.9: Inversión total**

inversión sistema energético			
CHP TG 544 KW y gasificador	\$	1,300.00 dol/KW	
capacidad bruta		543.2 KW	
	\$	706,160.00 dol	
		12 meses	\$ 8,473,920.00 inversión

**Fuente: Elaboración propia**

Esquema financiero

Tasa de interés del financiamiento = 6.10 %

Apalancamiento al 80 %

$$\text{Pago} = (\$8,473,920) * 80 \% = \$ 6,779,136$$

Los pagos se dividen en 6 cantidades iguales de: \$1,382,957 (pago fijo anual por 6 años)

El saldo por año se obtiene de:

$$\text{Saldo 2011} = \text{pago general} + \text{intereses 2011} - \text{pago anual fijo 1} \dots \dots \dots \text{Ec. 4.24}$$

$$\text{Saldo 2011} = \$6,779,136 + \$413,527 - \$1,382,957 = \$5,809,706$$

$$\text{Saldo 2012} = \text{saldo 2011} + \text{intereses 2012} - \text{pago anual fijo 2}$$

$$\text{Saldo 2012} = \$5,809,706 + \$354,392 - \$1,382,957 = \$4,781,141$$

Amortización

$$\text{Amortización 2011} = \text{pago anual fijo 1} - \text{intereses 2011} \dots \dots \dots \text{Ec. 4.25}$$

$$\text{Amortización 2011} = \$1,382,957 - \$413,527 = \$969,430$$

$$\text{Amortización 2012} = \$1,382,957 - \$354,392 = \$1,028,565$$

**Tabla 4.10 Resultados de la inversión**

ESQUEMA FINANCIERO					
Tasa de interés del financiamiento			0.061		6 pagos iguales (anuales)
apalancamiento			0.8		
inversión inicial			\$ 8,473,920.00		\$ 6,779,136.00 inversión (préstamo del banco)
					\$ 1,694,784.00 inversión personal
durante la construcción					
intereses	amortización	pagos		saldo	
\$ 413,527.30	\$ -969,430.08	\$ -1,382,957.38	\$ -1,382,957.38	\$ 5,809,705.92	
\$ 354,392.06	\$ -1,028,565.32	\$ -1,382,957.38	\$ -1,382,957.38	\$ 4,781,140.60	
\$ 291,649.58	\$ -1,091,307.80	\$ -1,382,957.38	\$ -1,382,957.38	\$ 3,689,832.80	
\$ 225,079.80	\$ -1,157,877.58	\$ -1,382,957.38	\$ -1,382,957.38	\$ 2,531,955.22	
\$ 154,449.27	\$ -1,228,508.11	\$ -1,382,957.38	\$ -1,382,957.38	\$ 1,303,447.11	
\$ 79,510.27	\$ -1,303,447.11	\$ -1,382,957.38	\$ -1,382,957.38	\$ -	
	\$ -6,779,136.00	\$ -8,297,744.28			
		\$ 1,518,608.28			CANTIDAD EXTRA QUE SE PAGA AL BANCO
trema	18.00%				

**Fuente: Elaboración propia**

Inversión inicial más intereses durante la construcción más costos de transacción

El flujo neto con pagos fijos se obtiene de:

$$\text{Inversión inicial} = -\$8,473,920$$

$$\text{Flujo neto 2011} = \text{inv. inicial} + \text{ingreso total 2011} + \text{pago fijo anual 1} \dots \dots \dots \text{Ec. 4.26}$$

$$\text{Flujo neto 2011} = -\$8,473,920 + 1,066,774 + \$1,382,957 = -\$6,024,188.14$$

$$\text{Flujo neto 2012} = \text{flujo neto 2011} + \text{ing. tot. 2012} + \text{pago fijo anual 2}$$

$$\text{Flujo neto 2012} = -\$6,024,188.14 + 1,095,442 + \$1,382,957 = -\$3,545,789.14$$

Resultado neto anual se obtiene de:

$$\text{Resul. net. 2011} = \text{Ingres. net. 2011} + \text{flujo net. pagos fijos} \dots \dots \dots \text{Ec. 4.27}$$

$$\text{Resul. net. 2011} = \$1,066,774 + \$1,382,957 = \$2,449,731.86$$

$$\text{Resul. net. 2012} = \$1,095,442 + \$1,382,957 = \$2,478,399$$

Después del año 2016 el ingreso neto anual es igual al resultado neto anual, se debe a que los 6 pagos fijos se cumplen para el año 2016.

**Tabla 4.11: Cálculo con sistema CHP**

<b>SOLO SE TOMA EN CUENTA CHP</b>						
N°	ingreso total CHP		ingreso total CHP	Flujo neto sin pagos fijos	Flujo neto con pagos fijos	Resultado neto anual
		<b>inversión</b>	<b>-\$ 8,473,920.00</b>			<b>-\$ 8,473,920.00</b>
1	\$ 1,066,774.48		\$ 1,066,774.48	-\$ 7,407,145.52	-\$ 8,790,102.89	-\$ 316,182.89
2	\$ 1,095,441.62		\$ 1,095,441.62	-\$ 6,311,703.90	-\$ 9,077,618.66	-\$ 287,515.76
3	\$ 1,124,873.21		\$ 1,124,873.21	-\$ 5,186,830.69	-\$ 9,335,702.83	-\$ 258,084.17
4	\$ 1,155,089.44		\$ 1,155,089.44	-\$ 4,031,741.25	-\$ 9,563,570.77	-\$ 227,867.94
5	\$ 1,186,111.04		\$ 1,186,111.04	-\$ 2,845,630.21	-\$ 9,760,417.11	-\$ 196,846.34
6	\$ 1,217,959.26		\$ 1,217,959.26	-\$ 1,627,670.96	-\$ 9,925,415.23	-\$ 164,998.12
7	\$ 1,250,655.90		\$ 1,250,655.90	-\$ 377,015.06	-\$ 8,674,759.34	\$ 1,250,655.90
8	\$ 1,284,223.34		\$ 1,284,223.34	\$ 907,208.28	-\$ 7,390,535.99	\$ 1,284,223.34
9	\$ 1,318,684.55		\$ 1,318,684.55	\$ 2,225,892.83	-\$ 6,071,851.44	\$ 1,318,684.55
10	\$ 1,354,063.08		\$ 1,354,063.08	\$ 3,579,955.91	-\$ 4,717,788.36	\$ 1,354,063.08
11	\$ 1,390,383.10		\$ 1,390,383.10	\$ 4,970,339.01	-\$ 3,327,405.26	\$ 1,390,383.10
12	\$ 1,427,669.41		\$ 1,427,669.41	\$ 6,398,008.43	-\$ 1,899,735.85	\$ 1,427,669.41
13	\$ 1,465,947.46		\$ 1,465,947.46	\$ 7,863,955.89	-\$ 433,788.39	\$ 1,465,947.46
14	\$ 1,505,243.35		\$ 1,505,243.35	\$ 9,369,199.24	\$ 1,071,454.96	\$ 1,505,243.35
15	\$ 1,545,583.85		\$ 1,545,583.85	\$ 10,914,783.09	\$ 2,617,038.81	\$ 1,545,583.85
16	\$ 1,586,996.46		\$ 1,586,996.46	\$ 12,501,779.55	\$ 4,204,035.27	\$ 1,586,996.46
17	\$ 1,629,509.35		\$ 1,629,509.35	\$ 14,131,288.90	\$ 5,833,544.63	\$ 1,629,509.35
18	\$ 1,673,151.46		\$ 1,673,151.46	\$ 15,804,440.36	\$ 7,506,696.09	\$ 1,673,151.46
19	\$ 1,717,952.45		\$ 1,717,952.45	\$ 17,522,392.81	\$ 9,224,648.54	\$ 1,717,952.45
20	\$ 1,763,942.76		\$ 1,763,942.76	\$ 19,286,335.57	\$ 10,988,591.30	\$ 1,763,942.76
<b>YPN</b>	<b>\$6,533,534.67</b>	<b>YPN</b>	<b>-\$ 1,940,385.33</b>		<b>YPN</b>	<b>\$1,696,499.40</b>

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4.12. Comparación de los esquemas**

<b>ESQUEMA ECONOMICO</b>		<b>ESQUEMA FINANCIERO</b>	
<b>YPN</b>	<b>-\$ 1,940,385.33</b>	<b>YPN</b>	<b>-\$ 6,779,136.00</b>
<b>AE</b>	<b>-\$362,502.75</b>	<b>AE</b>	<b>-\$1,266,478.06</b>
<b>BC</b>	<b>0.771016799</b>	<b>BC</b>	<b>0.200202433</b>
<b>TIR</b>	<b>13.61%</b>	<b>TIR</b>	<b>5.88%</b>
<b>TIRM</b>	<b>16.48%</b>	<b>TIRM</b>	<b>10.47%</b>
<b>PR simple</b>	<b>7.293574371</b>	<b>PR simple</b>	<b>13.28818489</b>

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4.13: calculo con sistema CHP + sistema convencional**

<b>SE TOMA EN CUENTA EL SISTEMA CHP + EL CONVENCIONAL</b>								
N°	Ingreso CHP + costo convencional = ahorro			inversión	AHORRO Conv. Vs CHP	Flujo neto sin pagos fijos	Flujo neto con pagos fijos	resultado neto anual
	ingreso total CHP	Costo total convencional	Ahorro Conv. vs CHP					
					-\$ 8,473,920.00			-\$ 8,473,920.00
1	\$ 1,066,774.48	\$ 2,833,366.06	\$ 3,900,140.55		\$ 3,900,140.55	-\$ 4,573,779.45	-\$ 5,956,736.83	\$ 2,517,183.17
2	\$ 1,095,441.62	\$ 2,914,736.80	\$ 4,010,178.41		\$ 4,010,178.41	-\$ 563,601.04	-\$ 3,329,515.80	\$ 2,627,221.03
3	\$ 1,124,873.21	\$ 2,998,451.77	\$ 4,123,324.98		\$ 4,123,324.98	\$ 3,559,723.94	-\$ 589,148.20	\$ 2,740,367.60
4	\$ 1,155,089.44	\$ 3,084,578.75	\$ 4,239,668.19		\$ 4,239,668.19	\$ 7,799,392.13	\$ 2,267,562.61	\$ 2,856,710.81
5	\$ 1,186,111.04	\$ 3,173,187.46	\$ 4,359,298.50		\$ 4,359,298.50	\$ 12,158,690.63	\$ 5,243,903.73	\$ 2,976,341.12
6	\$ 1,217,959.26	\$ 3,264,349.67	\$ 4,482,308.92		\$ 4,482,308.92	\$ 16,640,999.55	\$ 8,343,255.28	\$ 3,099,351.54
7	\$ 1,250,855.90	\$ 3,358,139.20	\$ 4,608,795.10		\$ 4,608,795.10	\$ 21,249,794.65	\$ 12,952,050.37	\$ 4,608,795.10
8	\$ 1,284,223.34	\$ 3,454,632.05	\$ 4,738,855.39		\$ 4,738,855.39	\$ 25,988,650.04	\$ 17,690,905.76	\$ 4,738,855.39
9	\$ 1,318,684.55	\$ 3,553,906.39	\$ 4,872,590.94		\$ 4,872,590.94	\$ 30,861,240.98	\$ 22,563,496.70	\$ 4,872,590.94
10	\$ 1,354,063.08	\$ 3,656,042.68	\$ 5,010,105.76		\$ 5,010,105.76	\$ 35,871,346.74	\$ 27,573,602.46	\$ 5,010,105.76
11	\$ 1,390,383.10	\$ 3,761,123.72	\$ 5,151,506.82		\$ 5,151,506.82	\$ 41,022,853.55	\$ 32,725,109.28	\$ 5,151,506.82
12	\$ 1,427,669.41	\$ 3,869,234.69	\$ 5,296,904.10		\$ 5,296,904.10	\$ 46,319,757.66	\$ 38,022,013.38	\$ 5,296,904.10
13	\$ 1,466,947.46	\$ 3,980,463.27	\$ 5,446,410.73		\$ 5,446,410.73	\$ 51,766,168.39	\$ 43,468,424.11	\$ 5,446,410.73
14	\$ 1,505,243.35	\$ 4,094,899.68	\$ 5,600,143.02		\$ 5,600,143.02	\$ 57,366,311.41	\$ 49,068,567.13	\$ 5,600,143.02
15	\$ 1,545,583.85	\$ 4,212,636.74	\$ 5,758,220.59		\$ 5,758,220.59	\$ 63,124,532.00	\$ 54,826,787.73	\$ 5,758,220.59
16	\$ 1,586,996.46	\$ 4,333,769.99	\$ 5,920,766.45		\$ 5,920,766.45	\$ 69,045,298.46	\$ 60,747,554.18	\$ 5,920,766.45
17	\$ 1,629,509.35	\$ 4,458,397.75	\$ 6,087,907.10		\$ 6,087,907.10	\$ 75,133,205.56	\$ 66,835,461.28	\$ 6,087,907.10
18	\$ 1,673,151.46	\$ 4,586,621.17	\$ 6,259,772.63		\$ 6,259,772.63	\$ 81,392,978.19	\$ 73,095,233.91	\$ 6,259,772.63
19	\$ 1,717,952.45	\$ 4,718,544.35	\$ 6,436,496.80		\$ 6,436,496.80	\$ 87,829,474.99	\$ 79,531,730.71	\$ 6,436,496.80
20	\$ 1,763,942.76	\$ 4,854,274.43	\$ 6,618,217.19		\$ 6,618,217.19	\$ 94,447,692.18	\$ 86,149,947.90	\$ 6,618,217.19
		<b>VPN</b>	\$ 24,059,189.53	<b>VPN</b>	\$ 15,585,269.53		<b>VPN</b>	\$19,222,154.26

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4.14: Comparación de los esquemas**

ESQUEMA ECONOMICO		ESQUEMA FINANCIERO	
VPN	\$ 15,585,269.53	VPN	\$17,527,370.26
AE	\$ 2,911,639.76	AE	\$ 3,274,462.98
BC	2.839204233	BC	2.268389867
TIR	48.82%	TIR	36.01%
TIRM	24.32%	TIRM	22.93%
PR simple	2.136686059	PR simple	3.206233056

Fuente: Elaboración propia

Contexto solo para CHP

En el análisis de sensibilidad sobre los aspectos económicos se tiene:

Como dato una TREMA del 18 % se tiene que el VPN (Valor Presente Neto) se obtiene a partir de la devolución del valor neto presente de una inversión a partir de una tasa de descuento y una serie de pagos en la vida útil del proyecto.

Resultando un VPN = \$ 6,533,535 y el VPN para el 2011 es:

$$VPN \text{ en } 2011 = VPN + Inversión \text{ inicial} \dots \dots \dots Ec. 28$$

$$VPN \text{ en } 2011 = \$6,533,535 - \$8,473,920 = -\$1,940,385$$

El A/E se obtiene de relacionar el pago de un préstamo basado en pagos y la tasa de interés constante, relacionando la TREMA del 18%, en un total de 20 años de vida del proyecto y el VPN en 2011

$$\frac{A}{E} = -\$362,503$$

La relación beneficio costo se obtiene de la relación entre la inversión inicial y el VPN a 20 años, por lo que:

$$\frac{B}{C} = \frac{\$ 6,533,535}{\$ 8,473,920} = 0.77$$

La tasa interna de retorno (TIR) se obtiene de involucrar la inversión inicial con el resultado neto anual en la vida útil del proyecto, por lo que devuelve la tasa interna de retorno de la inversión para una serie de valores en efectivo.

El TIR = 13.61 %

El TIRM se obtiene de relacionar el resultado neto anual a lo largo de la vida útil del proyecto, la TREMA y la TIR y el concepto es que devuelve la tasa interna de retorno para una serie de flujos en efectivo periódicos, considerando costo de la inversión e interés al volver a invertir el efectivo.

Se obtiene un TIRM del 16.48 %

Los resultados se muestran en la siguiente tabla 4.7:

}

**Tabla 4.15: Evaluación económica solo CHP**

Evaluación económica	
TREMA	18 %
VPN en 2011	-\$ 1,940,385
AE	-\$362,503
B/C	0.77
TIR	13.61%
TIRM	16.48 %
PR simple	7.29

**Fuente: Elaboración propia**

En el análisis de sensibilidad sobre los aspectos financieros se tiene:

Como dato una TREMA del 18 % se tiene que el VPN (Valor Presente Neto) se obtiene a partir de la devolución del valor neto presente de una inversión a partir de una tasa de descuento y una serie de pagos en la vida útil del proyecto.

Resultando un VPN = \$ 11,370,570 y el VPN para el 2011 es:

$$VPN \text{ en } 2011 = VPN + Inversión \text{ inicial} - inversión \text{ inicial} \times \text{apalancamiento} \dots \dots \dots Ec. 29$$

$$VPN \text{ en } 2011 = \$11,370,570 + (\$ 8,473,920 - \$ 6,779,136) = \$ 9,675,785.94$$

El A/E se obtiene de relacionar el pago de un préstamo basado en pagos y la tasa de interés constante, relacionando la TREMA del 18%, en un total de 20 años de vida del proyecto y el VPN en 2011

$$\frac{A}{E} = \$ 1,807,630$$

La relación beneficio costo se obtiene de la relación entre la inversión inicial y el VPN a 20 años, por lo que:

$$\frac{B}{C} = \frac{\$ 11,370,570}{\$ 8,473,920} = 1.34$$

La tasa interna de retorno (TIR) se obtiene de involucrar la inversión inicial con el resultado neto anual en la vida útil del proyecto, por lo que devuelve la tasa interna de retorno de la inversión para una serie de valores en efectivo.

El TIR = 26.06 %

El TIRM se obtiene de relacionar el resultado neto anual a lo largo de la vida útil del proyecto, la TREMA y la TIR y el concepto es que devuelve la tasa interna de retorno para una serie de flujos en efectivo periódicos, considerando costo de la inversión e interés al volver a invertir el efectivo.

Se obtiene un TIRM del 19.75 %

Los resultados se muestran en la siguiente tabla 4.8:

**Tabla 4.16: Evaluación financiera solo CHP**

Evaluación financiera	
TREMA	18 %
VPN en 2011	\$9,675,785.94
AE	\$ 1,807,630
B/C	1.34
TIR	26.06%
TIRM	19.75 %
PR simple	3.41

**Fuente: Elaboración propia**

Contexto para CHP vs convencional

En el análisis de sensibilidad sobre los aspectos económicos se tiene:

Como dato una TREMA del 18 % se tiene que el VPN (Valor Presente Neto) se obtiene a partir de la devolución del valor neto presente de una inversión a partir de una tasa de descuento y una serie de pagos en la vida útil del proyecto.

Resultando un VPN = \$ 24,059,190 y el VPN para el 2011 es:

$$VPN \text{ en } 2011 = VPN + Inversión \text{ inicial} \dots \dots \dots \text{Ec. 30}$$

$$VPN \text{ en } 2011 = \$24,059,190 - \$ 8,473,920 = \$ 15,585,270$$

El A/E se obtiene de relacionar el pago de un préstamo basado en pagos y la tasa de interés constante, relacionando la TREMA del 18%, en un total de 20 años de vida del proyecto y el VPN en 2011

$$\frac{A}{E} = \$ 2,911,640$$

La relación beneficio costo se obtiene de la relación entre la inversión inicial y el VPN a 20 años, por lo que:

$$\frac{B}{C} = \frac{\$ 24,059,190}{\$ 8,473,920} = 2.84$$

La tasa interna de retorno (TIR) se obtiene de involucrar la inversión inicial con el resultado neto anual en la vida útil del proyecto, por lo que devuelve la tasa interna de retorno de la inversión para una serie de valores en efectivo.

El TIR = 48.82 %

El TIRM se obtiene de relacionar el resultado neto anual a lo largo de la vida útil del proyecto, la TREMA y la TIR y el concepto es que devuelve la tasa interna de retorno para una serie de flujos en efectivo periódicos, considerando costo de la inversión e interés al volver a invertir el efectivo.

Se obtiene un TIRM del 24.32 %

Los resultados se muestran en la siguiente tabla 4.9:

**Tabla 4.17: Evaluación económica CHP + convencional**

Evaluación económica	
TREMA	18 %
VPN en 2011	\$ 15,585,270
AE	\$2,911,640
B/C	2.84
TIR	48.82%
TIRM	24.32 %
PR simple	2.52

**Fuente: Elaboración propia**

En el análisis de sensibilidad sobre los aspectos financieros se tiene:

Como dato una TREMA del 18 % se tiene que el VPN (Valor Presente Neto) se obtiene a partir de la devolución del valor neto presente de una inversión a partir de una tasa de descuento y una serie de pagos en la vida útil del proyecto.

Resultando un VPN = \$ 28,896,225 y el VPN para el 2011 es:

$$VPN \text{ en } 2011 = VPN + Inversión \text{ inicial} - inversión \text{ inicial} \times apalancamiento \dots \dots \dots Ec. 31$$

$$VPN \text{ en } 2011 = \$ 28,896,225 - (\$ 8,473,920 - \$ 6,779,136) = \$ 27,201,440.80$$

El A/E se obtiene de relacionar el pago de un préstamo basado en pagos y la tasa de interés constante, relacionando la TREMA del 18%, en un total de 20 años de vida del proyecto y el VPN en 2011

$$\frac{A}{E} = \$ 5,081,773$$

La relación beneficio costo se obtiene de la relación entre la inversión inicial y el VPN a 20 años, por lo que:

$$\frac{B}{C} = \frac{\$ 28,896,225}{\$ 8,473,920} = 3.41$$

La tasa interna de retorno (TIR) se obtiene de involucrar la inversión inicial con el resultado neto anual en la vida útil del proyecto, por lo que devuelve la tasa interna de retorno de la inversión para una serie de valores en efectivo.

El TIR = 63.63 %

El TIRM se obtiene de relacionar el resultado neto anual a lo largo de la vida útil del proyecto, la TREMA y la TIR y el concepto es que devuelve la tasa interna de retorno para una serie de flujos en efectivo periódicos, considerando costo de la inversión e interés al volver a invertir el efectivo.

Se obtiene un TIRM del 25.46 %

Los resultados se muestran en la siguiente tabla 4.10:

**Tabla 4.18: Evaluación financiera CHP + convencional**

Evaluación financiera	
TREMA	18 %
VPN en 2011	\$ 27,201,440.80
AE	\$ 5,081,773
B/C	3.41
TIR	63.63%
TIRM	25.46 %
PR simple	1.63

**Fuente: Elaboración propia**

#### **4.3.6 Consideraciones medioambientales del proyecto como MDL (Mecanismo de Desarrollo Limpio)**

En la aplicación de un proyecto en donde se desea aprovechar la biomasa, no se deben dejar pasar todas aquellas consideraciones tanto ambientales como sociales, el propósito es asegurar que las opciones de desarrollo bajo consideración sean ambientalmente adecuadas y sustentables y que toda consecuencia ambiental sea reconocida en el ciclo del proyecto y tomada en cuenta para el diseño del mismo.

##### *Impacto ambiental*

El desarrollo energético implica la realización e múltiples actividades y generación de productos y residuos que impactan sobre el medio ambiente; las emisiones al ambiente resultado de estas actividades afectan al aire, el agua y los suelos, e inciden en el cambio climático (emisión de CO<sub>2</sub> y de otros gases de efecto invernadero).

Es de vital importancia el uso sustentable de los recursos naturales energéticos, incrementar la eficiencia del uso de la energía y la utilización de energías renovables para contribuir a atenuar el impacto de las actividades económicas; así y de acuerdo al plan Nacional de Desarrollo en México, el sector busca proteger, conservar y aprovechar sustentablemente los recursos naturales y el medio ambiente.

##### *Efecto invernadero*

Mientras que la atmósfera es relativamente transparente a la radiación solar, pequeñas cantidades de gases que constituyen menos del 1 % de la atmósfera (conocidos como Gases de Efecto Invernadero GEI), absorben la radiación infrarroja emitida por la Tierra, actuando

como un manto que impide el escape directo de esta radiación hacia el espacio, provocando entre otros efectos, un incremento del calentamiento de la superficie terrestre; a su vez, procesos climáticos de acción recíproca (como la radiación, las corrientes de aire, la evaporación, formación de nubes y tormentas) transportan finalmente dicha energía hacia altas esferas de la atmósfera y de ahí se libera al espacio.

Este es el denominado efecto invernadero, el cual ha operado en la atmósfera de la Tierra por millones de años, debido a la presencia de los GEI naturales; el vapor de agua, el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), el metano ( $\text{CH}_4$ ), el óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) y el ozono ( $\text{O}_3$ ), si no existieran estos gases, la temperatura sería  $30\text{ }^\circ\text{C}$  más baja que en la actualidad, haciendo la vida imposible.

### *Gases de efecto invernadero*

El principal gas invernadero es el vapor de agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ), responsable de dos terceras partes del efecto invernadero natural; en la atmósfera, las moléculas de agua atrapan el calor que irradia la Tierra y la irradian a su vez en todas las direcciones, calentando la superficie terrestre, antes de devolverlo de nuevo al espacio.

El vapor de agua en la atmósfera forma parte del ciclo hidrológico, un sistema cerrado de circulación de agua, del cual existe una cantidad limitada en la Tierra desde los océanos y la tierra a la atmósfera y vuelve a empezar a través de la evaporación y la transpiración, la condensación y la precipitación

El elemento que contribuye el efecto invernadero acentuado (artificial) es el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ); en general, es el responsable del 60 % del efecto invernadero intensificado; en los países industrializados, el  $\text{CO}_2$  representa más del 80 % de las emisiones de gases invernadero.

El segundo gas que más contribuye al efecto invernadero acentuado es el metano ( $\text{CH}_4$ ), en los países industrializados, el metano representa normalmente el 15 % de las emisiones de los gases invernadero. El metano retiene el calor y es 23 veces más efectivo que el  $\text{CO}_2$ ; su ciclo de vida es, sin embargo más breve, entre 10 y 15 años.

El óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) se libera de forma natural de los océanos y de las selvas tropicales gracias a las bacterias del suelo; algunas de las fuentes influidas por el hombre son los abonos a base de nitrógeno, la quema de combustibles fósiles y a producción química industrial que utiliza nitrógeno como el tratamiento de residuos; en los países industrializados, el  $\text{N}_2\text{O}$  representa el 6% de las emisiones de gases invernadero.

Los gases fluorados son los únicos gases de efecto invernadero que no se producen de forma natural, sino que han sido desarrollados por el hombre con fines industriales; representan alrededor del 15 % de las emisiones e gases invernadero en los países industrializados, siendo extremadamente potentes (puede atrapar el calor hasta 22,000 veces más eficaz que el  $\text{CO}_2$ ) y pueden permanecer en la atmósfera por miles de años.

Los gases fluorados incluyen los hidrofluorocarbonos (HFC) que se utilizan en la refrigeración, como el aire acondicionado, sulfuro hexafluoruro ( $\text{SF}_6$ ), que se usa en la industria de la electrónica; los perfluorocarbonos (PFC), que se emiten durante la fabricación de aluminio y se emplean también en la industria de la electrónica; posiblemente los gases más conocidos de este grupo sean los clorofluorocarbonos (CFC), que no solo son gases de efecto invernadero sino que además reducen la capa de ozono.

El mecanismo de desarrollo limpio (MDL) es un mecanismo del protocolo de Kyoto, basado en proyectos que tiene como objetivo reducir las emisiones de gases efecto invernadero en países de desarrollo.

El MDL se define en el artículo 12 del Protocolo de Kyoto: El propósito del mecanismo para un desarrollo limpio es ayudar a las partes no incluidas en el anexo I a lograr un desarrollo sostenible y contribuir al objetivo último de la Convención, así como ayudar a las partes incluidas en el anexo I a dar cumplimiento a sus compromisos cuantificados de limitación y reducción de las emisiones contraídos en virtud del artículo 3.

Se ha diferenciado los proyectos MDL en tres grandes grupos:

- Proyectos regulares o de gran escala (Large Scale Projects)

Categorías de proyectos de gran escala:

- Industrias de energía (fuentes renovables y no renovables)
- Distribución de energía
- Demanda de energía
- Industrias de manufactura
- Industrias químicas
- Construcción
- Transporte
- Producción de mineral /minería
- Producción de metal
- Emisiones fugitivas de combustibles (sólidos, gaseosos y aceites)
- Emisiones fugitivas de producción y consumo de hidrocarburos y hexafluoruro de azufre
- Uso de solventes
- Manejo y disposición de residuos
- Forestación y reforestación
- Agricultura

- Proyectos de mediana escala (Small Scale Projects)

Categorías de proyectos de pequeña escala

- Proyectos con energía renovables
- Proyectos de mejoras en la eficiencia energética
- Otros proyectos

Todo proyecto de reducción de emisiones GEI, que forme parte del Mecanismo de Desarrollo Limpio (proyecto MDL) debe cumplir con las siguientes condiciones.

- Reducir alguno de los siguientes gases GEI indicados:

- Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)
- Metano (CH<sub>4</sub>)
- Óxido nitroso (N<sub>2</sub>O)
- Hidrofluorocarbonos (HFC)
- Perfluorocarbonos (PFC)
- Hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>)

- Participación voluntaria
- Reducir emisiones consideradas adicionales a las que se producirían en ausencia de la actividad del proyecto
- Demostrar tener beneficios reales, mensurables y de largo plazo en relación con la mitigación de los GEI
- Contribuir al desarrollo sostenible del país
- Ser desarrollado en un país que haya ratificado el protocolo de Kyoto y que posea una autoridad Nacional Designada (AND) para el MDL

### **Conclusiones:**

En este capítulo se definen la evaluación de las alternativas de inversión, es un punto importante para definir cuáles son los conceptos económicos que se deben de plantear y de esa manera elegir la viabilidad del proyecto; como consecuencia los costos de financiamiento son los recursos con los que se cuentan y de este concepto se parte para dar organización a las inversiones necesarias,

Estas inversiones del proyecto contemplan la planeación, construcción y costos de operación y mantenimiento y con la manera de producir energía eléctrica mediante cogeneración se tienen ahorros eléctricos y térmicos, estos parámetros se observan mediante las facturaciones eléctricas y térmicas.

La manera de evaluar la posibilidad de realizar un proyecto es mediante indicadores económicos, los que se consideran en este capítulo son los siguientes: tasa interna de retorno (es la que mide el rendimiento del dinero que se quieren invertir), el valor presente neto (determina la igualdad en el tiempo de inicio de los flujos de efectivo que genera un proyecto y compara esa equivalencia con el desembolso inicial), beneficio-costos (en términos generales es por cada peso invertido, cuánto es lo que se gana) y por último el periodo de recuperación (su primordial utilidad es la de conocer en qué tiempo, una inversión genera los recursos suficientes para igualar el monto de la inversión inicial),

Por medio de estos indicadores se realizó la evaluación económica generando resultados favorables para invertir en un proceso de cogeneración, de las cuatro alternativas para dar flujo al capital invertido, la última propuesta resulta ser la más atractiva, ya que se tiene una tasa de rendimiento del 63.63 % y el periodo de recuperación es de 1.53 siendo el tiempo más corto de recuperación.

## **Conclusiones generales:**

Un amplio panorama de las ideas y conceptos vertidos dentro de la tesis, son para dar un repaso general, cuestiones de sistemas de potencia, diferentes formas de generación eléctrica, cambio climático, sustentabilidad y temas de actualidad se presentan en el primer capítulo, así como lo que se puede ver dentro de las instalaciones de un hotel y todo lo que esto implica; lo anterior para dar paso a la ubicación, y los cálculos necesarios y de esa manera obtener resultados para la adquisición y toma de decisión de la capacidad de los equipos, presentados en el segundo capítulo.

Para el tercer capítulo y con ayuda del programa thermoflow, se realizaron las diferentes simulaciones con todas las alternativas e ideas que se presentaron en este proceso, dando como resultado más viable la utilización de biomasa y en el último capítulo se presenta la evaluación económica para poder realizar el proyecto.

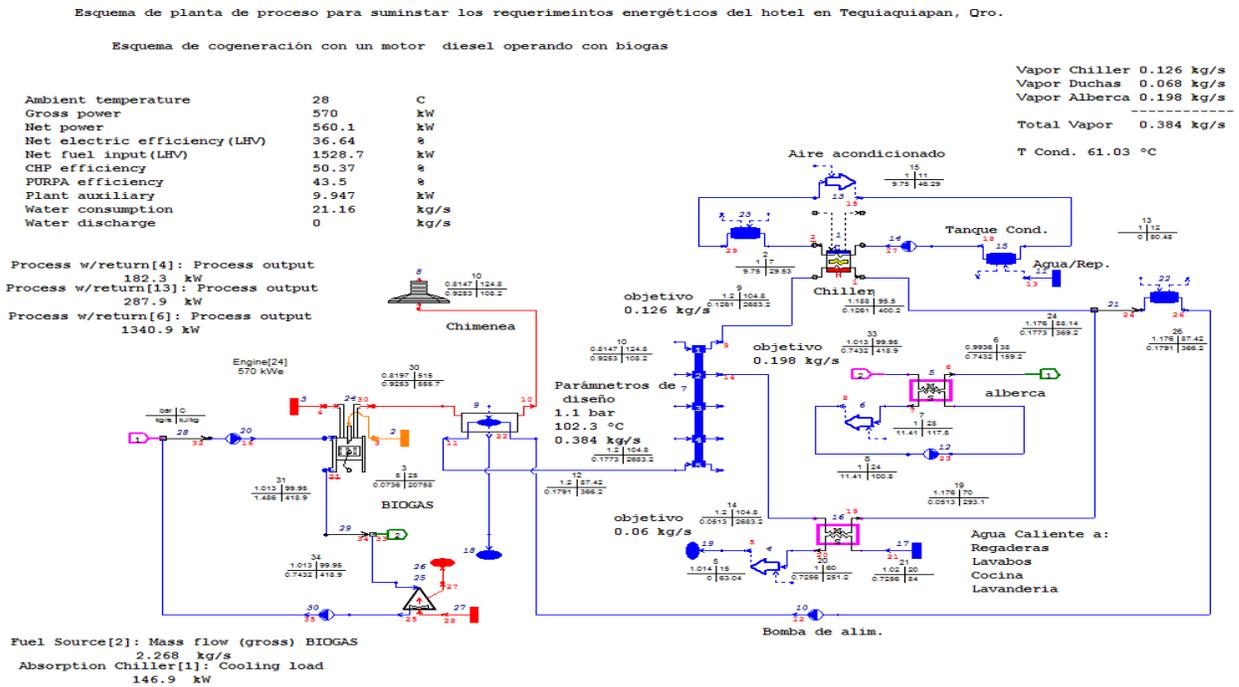
La idea de planear la construcción de un hotel en el municipio de Tequisquiapan, en Querétaro, resulta de ofrecer una alternativa diferente en la zona, se puede pensar que por ser un centro turístico, este cuenta con una gran cantidad de albergues, zonas de hospedaje de tipo colonial, característico del municipio, sin embargo el proyecto pretende establecer una forma de aprovechar los recursos agrícolas que se generan dentro del municipio.

Como Estado, Querétaro cuenta con una gran diversidad de cultivos, por lo que los recursos para obtener biomasa, radican en el orden de miles de toneladas, esto a su vez, se traduce en una fuente de energía que se puede aprovechar, siendo rentable económicamente, en cuestiones de traslado y almacenamiento; particularmente en los alrededores del municipio de Tequisquiapan los tipos de cultivo son los adecuados para la utilización del sistema de cogeneración que se plantea es esta tesis.

El proyecto en sí, es rentable económicamente, la alternativa de generación eléctrica y térmica es factible y se aprovechan los recursos, que de alguna manera son desechos de cultivo (biomasa), también cabe mencionar que los excesos térmicos y eléctricos que se generan con el sistema, pueden ser vendidos y así obtener recursos para poder recuperar de manera más rápida el financiamiento obtenido.

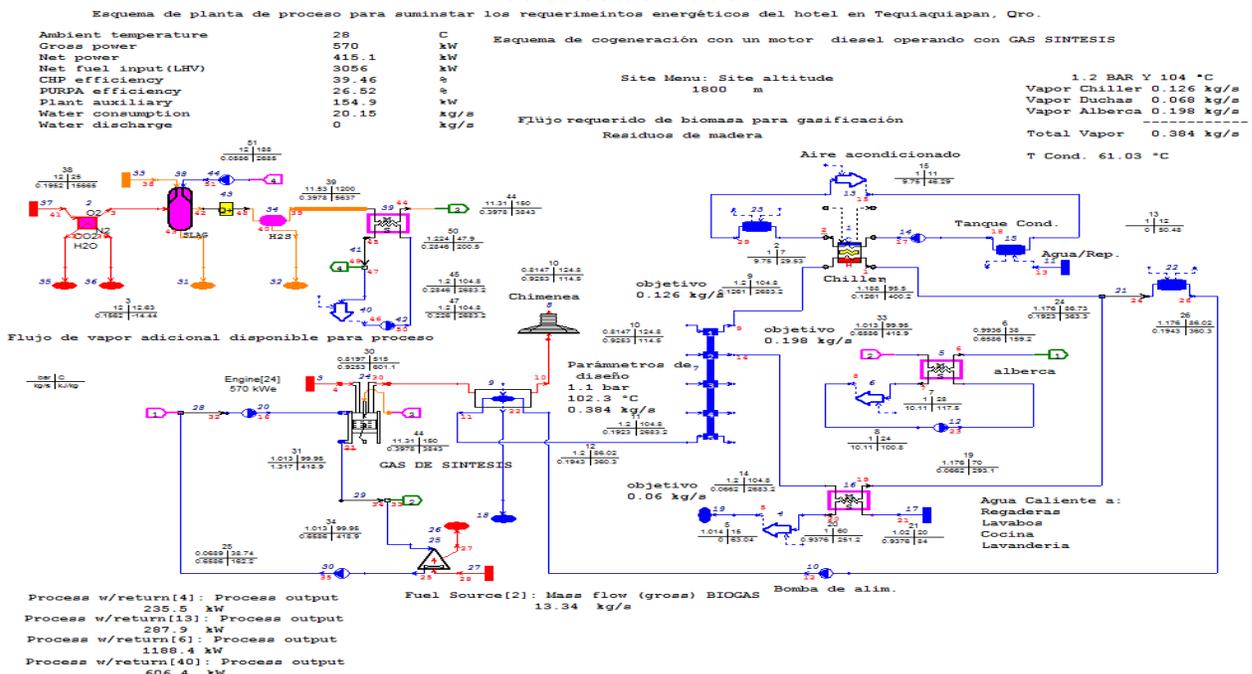
## Anexo A: Simulaciones en el programa Thermoflex de las diferentes alternativas de generación eléctrica y térmica.

### Figura A.1: Esquema de cogeneración con un motor diesel operado con biogás



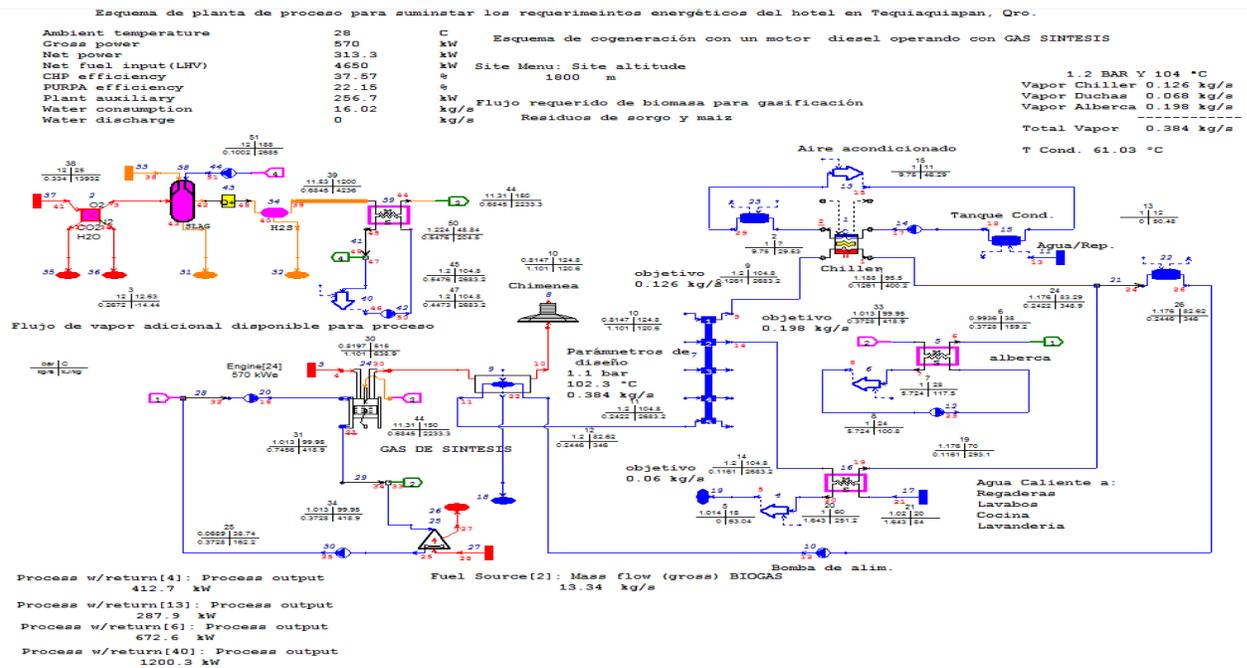
Fuente: Elaboración propia.

### Figura A.2: Esquema de cogeneración con un motor diesel operado con gas síntesis residuos de madera



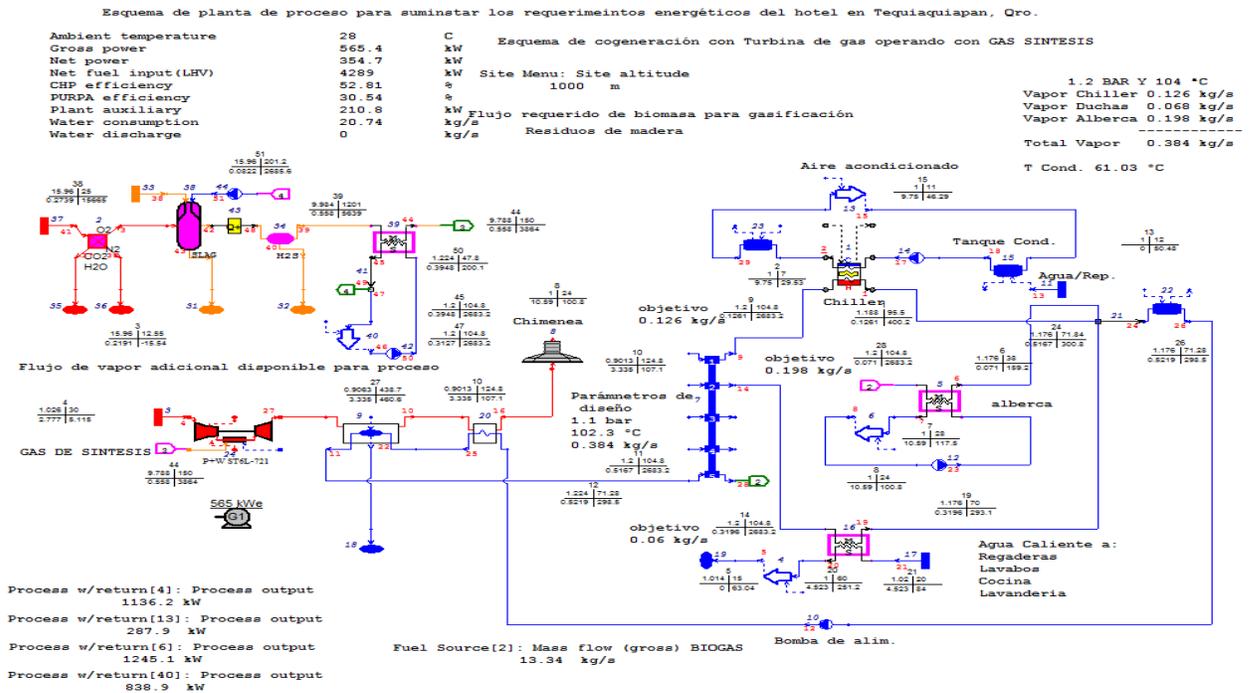
Fuente: Elaboración propia.

**Figura A.3: Esquema de cogeneración con un motor diesel operado con gas síntesis residuos de sorgo y maíz**



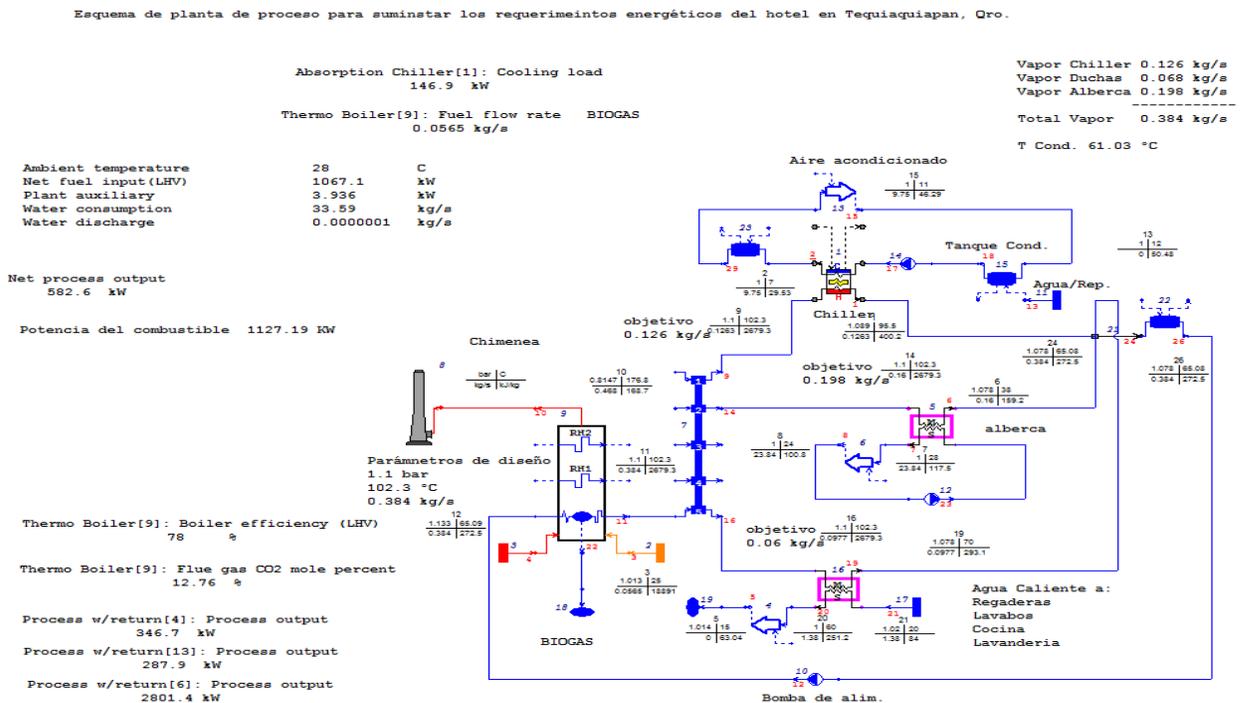
Fuente: Elaboración propia.

**Figura A.4: Esquema de cogeneración con turbina de gas operando con gas síntesis de residuos de madera**



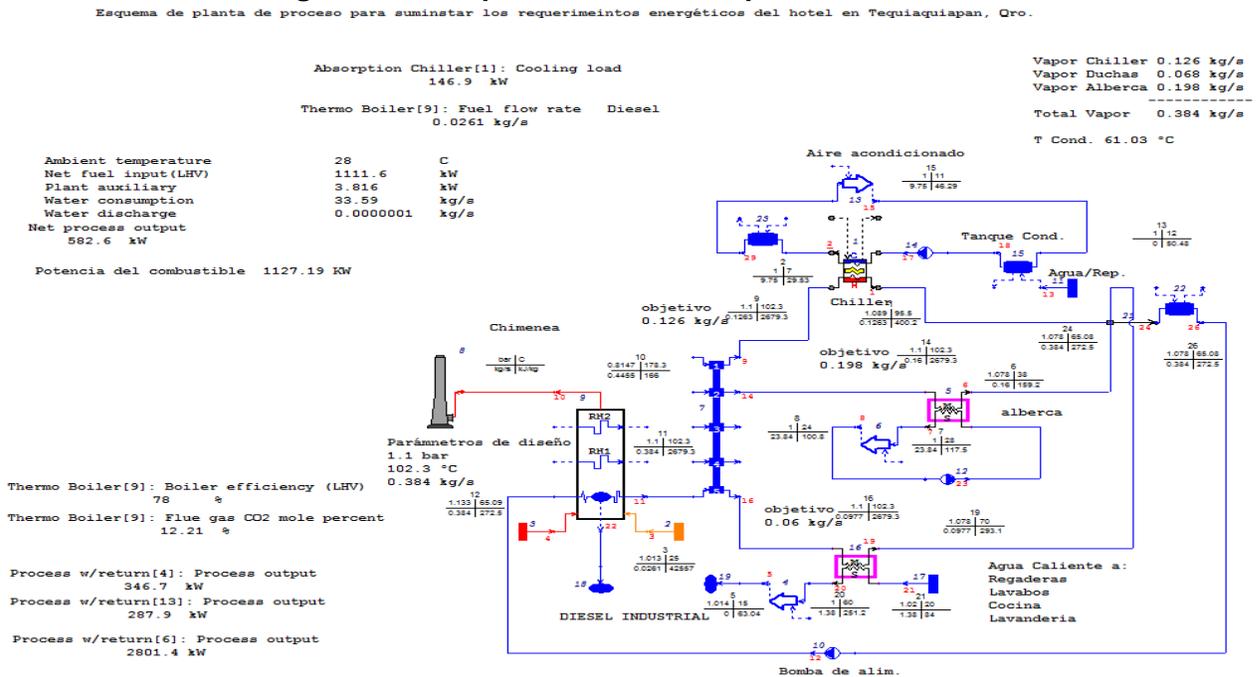
Fuente: elaboración propia.

**Figura A.5: Esquema de caldera operada con biogás**



Fuente: Elaboración propia

**Figura A.6: Esquema de caldera operada con diesel**

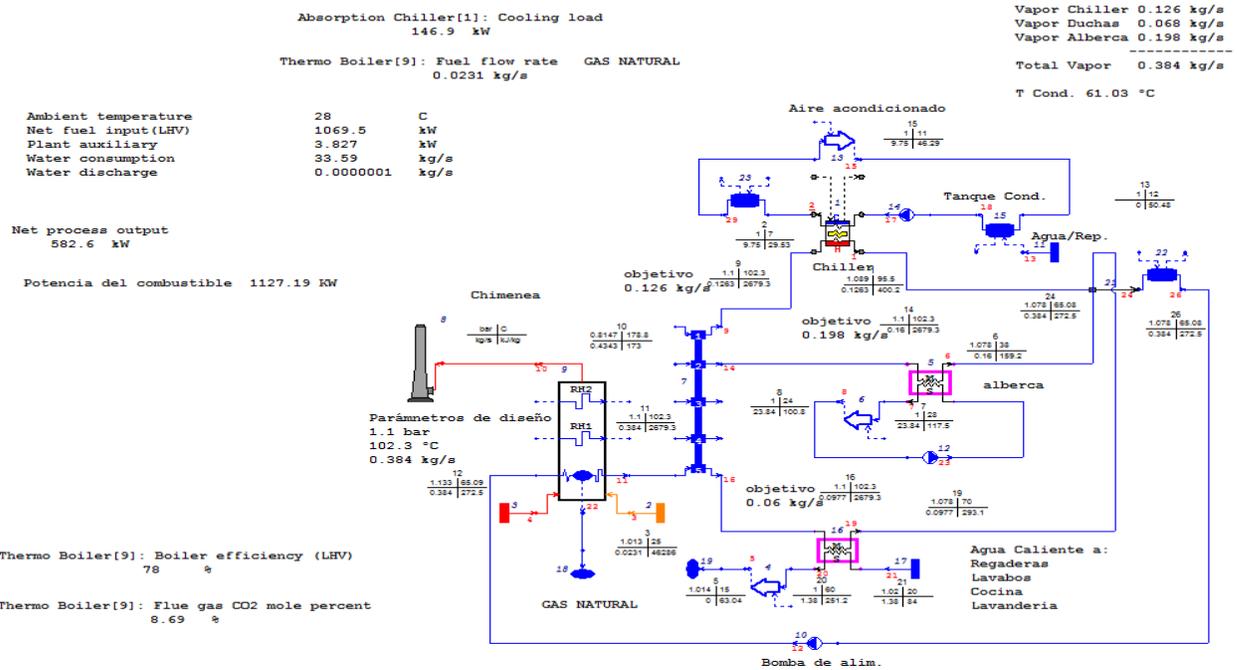


Fuente: Elaboración propia.

Comparación del desempeño de tecnologías de Generación Eléctrica, aplicadas a un hotel en Tequisquiapan, en base a residuos de la biomasa.

### Figura A.7: Esquema de caldera operada con gas natural

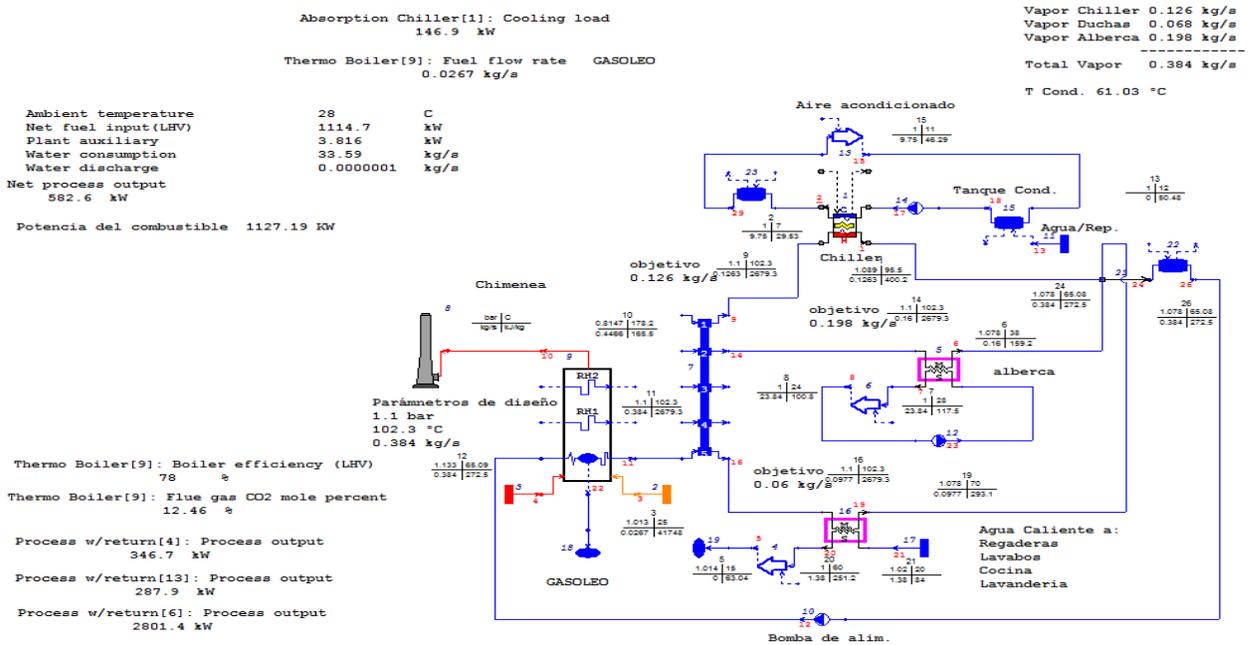
Esquema de planta de proceso para suministrar los requerimientos energéticos del hotel en Tequisquiapan, Qro.



Fuente: Elaboración propia

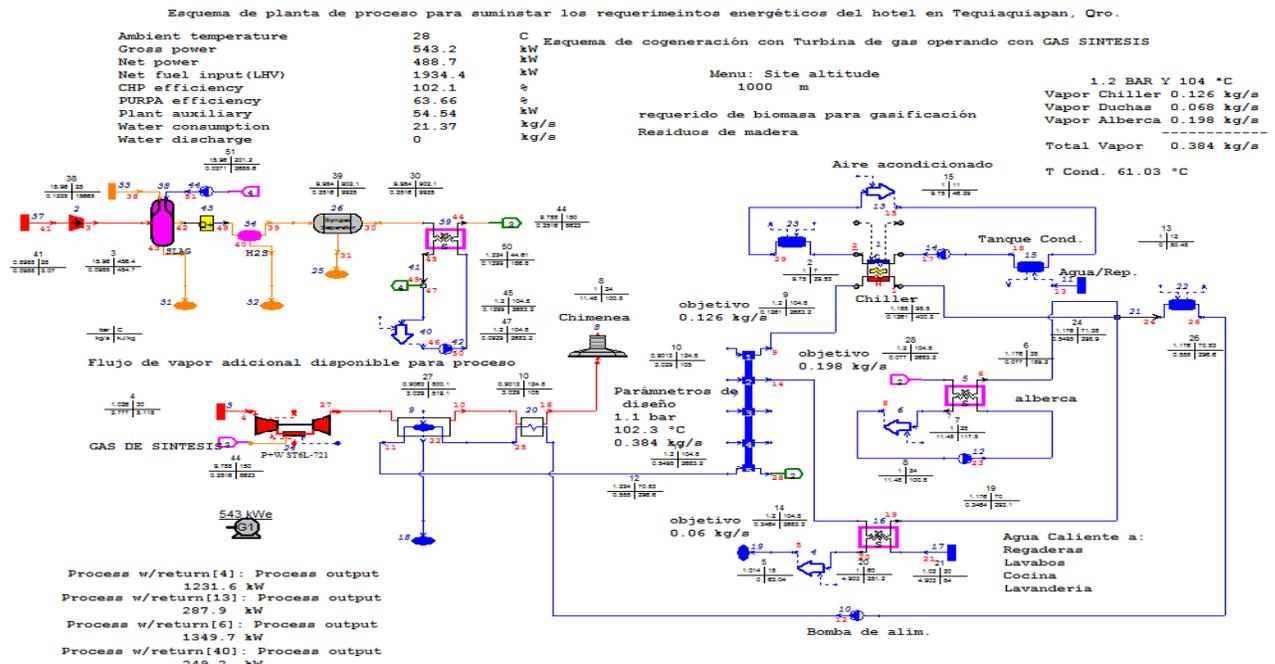
### Figura A.8: Esquema de caldera operada con gasóleo

Esquema de planta de proceso para suministrar los requerimientos energéticos del hotel en Tequisquiapan, Qro.



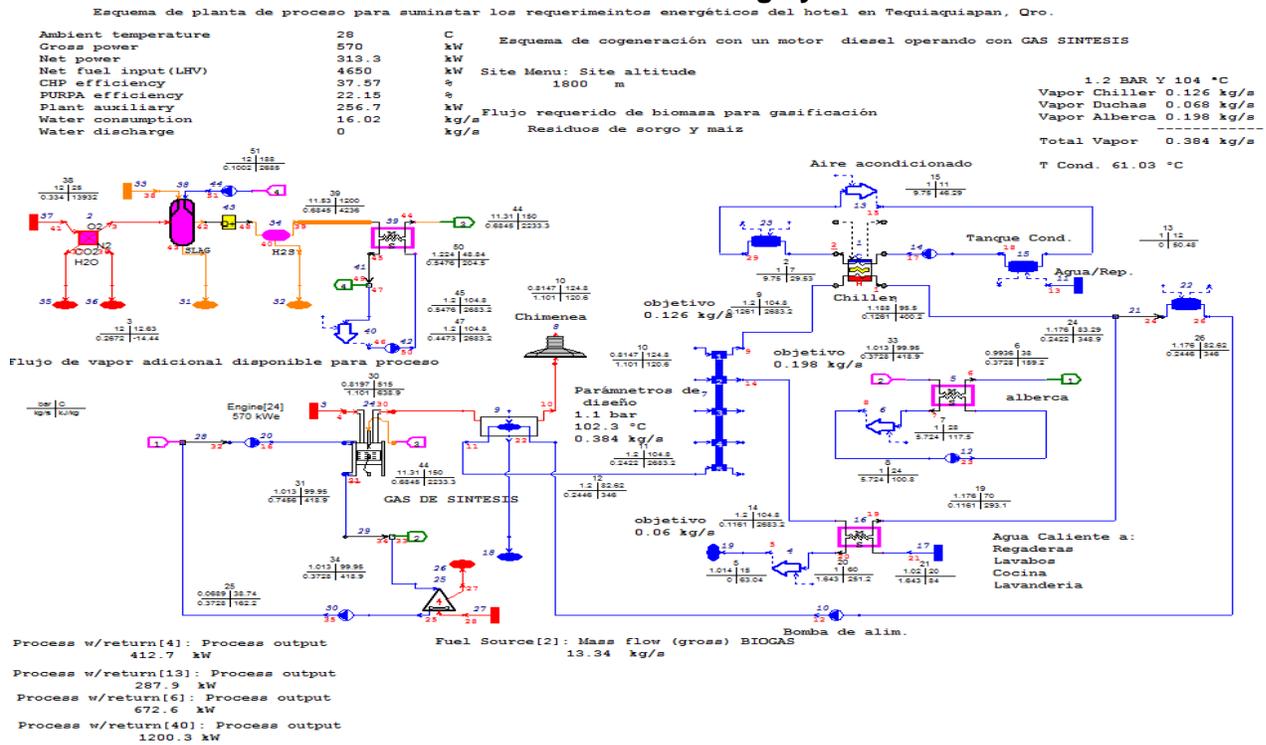
Fuente: Elaboración propia.

**Figura A.9: Esquema de cogeneración con turbina de gas operando con gas síntesis de residuos de madera con oxígeno**



Fuente. Elaboración propia

**Figura A.10: Esquema de cogeneración operado con motor diesel operado con gas síntesis de residuos de sorgo y maíz**



Fuente: Elaboración propia

## Anexo B: Desarrollo de la Evaluación Económica del proyecto

Tabla B.1: Referencia sistema convencional

<b>CONVENCIONAL</b>		
<b>Capacidad térmica</b>	<b>150 CC</b>	
<b>Capacidad eléctrica</b>	<b>82.9 KW</b>	
Factor de planta térmico	0.35	
Horas de operación con factor de planta	8,760.00	hr/año
Factor de demanda eléctrico	0.8	
Horas de consumo con factor de demanda	8,760.00	hr/año
Consumo térmico	150	CC
	1,471.5	Kwt
Producción de vapor real	2,349.0	kg/h
<b>Demanda térmica</b>	<b>1.47</b>	<b>MWt</b>
<b>Demanda eléctrica</b>	<b>0.0829</b>	<b>MVe</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla B.2: Referencia esquema CHP

<b>ESQUEMA CHP CON TURBINA DE GAS SYNGAS AIRE</b>		
<b>Capacidad bruta</b>	<b>543.2 KW</b>	
<b>Capacidad neta</b>	<b>488.7 KW</b>	
<b>EXCEDENTE ELECTRICO</b>	<b>405.8 KW</b>	
<b>CONSUMO DE COMBUSTIBLE</b>	<b>1934.4 KW</b>	
<b>FLUJO DE BIOMASA A GASIFICADOR</b>	<b>0.1235 KG/S</b>	
<b>Demanda térmica</b>	<b>150 CC</b>	
<b>Demanda eléctrica</b>	<b>82.9 KW</b>	
Factor de planta térmico	0.35	
Horas de operación con factor de planta	8,760.00	hr/año
Factor de demanda electrico	0.86	
Horas de consumo con factor de demanda	8,760.00	hr/año
Consumo térmico	150	CC
	1,471.5	Kwt
Producción de vapor real	2,349.0	kg/h
<b>Demanda térmica</b>	<b>1.47</b>	<b>MWt</b>
<b>Demanda eléctrica</b>	<b>0.0829</b>	<b>MVe</b>

Fuente: Elaboración propia

TablaB.3: Costos de combustibles

combustibles liquidos	consumo en calderas industriales			precio	
	pci MJ/Kg	efic. 78 %			
oil 6	40.6	1.054	1/hCC	2.2	\$/l
oil 4	42.2	1.082	1/hCC	4.44	\$/l
oil 2	42.6	1.097	1/hCC	5	\$/l

9.89 KW/CC
15.65 KG/H 1CC

Fuente: Elaboración propia

**Tabla B.4: Desarrollo de cálculos del sistema convencional parte 1**

<b>SISTEMA CONVENCIONAL</b>							
N°	Año	Precio medio \$/KWh	Precio combustible	Generación KWh	Factor planta térmico	Costo combustible	Costo O&M térmico
1	2011	\$ 0.92	\$ 4.57	4502595.762	0.3493	\$ 2,252,755.83	\$ 45,055.12
2	2012	\$ 0.95	\$ 4.71	4493590.57	0.3486014	\$ 2,315,697.83	\$ 46,313.96
3	2013	\$ 0.98	\$ 4.85	4484603.389	0.347904197	\$ 2,380,398.42	\$ 47,607.97
4	2014	\$ 1.01	\$ 5.00	4475634.183	0.347208389	\$ 2,446,906.76	\$ 48,938.14
5	2015	\$ 1.04	\$ 5.15	4466682.914	0.346513972	\$ 2,515,273.33	\$ 50,305.47
6	2016	\$ 1.07	\$ 5.30	4457749.548	0.345820944	\$ 2,585,550.07	\$ 51,711.00
7	2017	\$ 1.10	\$ 5.46	4448834.049	0.345129302	\$ 2,657,790.34	\$ 53,155.81
8	2018	\$ 1.13	\$ 5.62	4439936.381	0.344439044	\$ 2,732,049.00	\$ 54,640.98
9	2019	\$ 1.17	\$ 5.79	4431056.508	0.343750166	\$ 2,808,382.45	\$ 56,167.65
10	2020	\$ 1.20	\$ 5.97	4422194.395	0.343062665	\$ 2,886,848.65	\$ 57,736.97
11	2021	\$ 1.24	\$ 6.15	4413350.007	0.34237654	\$ 2,967,507.21	\$ 59,350.14
12	2022	\$ 1.27	\$ 6.33	4404523.307	0.341691787	\$ 3,050,419.36	\$ 61,008.39
13	2023	\$ 1.31	\$ 6.52	4395714.26	0.341008403	\$ 3,135,648.07	\$ 62,712.96
14	2024	\$ 1.35	\$ 6.72	4386922.831	0.340326386	\$ 3,223,258.08	\$ 64,465.16
15	2025	\$ 1.39	\$ 6.92	4378148.986	0.339645734	\$ 3,313,315.91	\$ 66,266.32
16	2026	\$ 1.43	\$ 7.12	4369392.688	0.338966442	\$ 3,405,889.96	\$ 68,117.80
17	2027	\$ 1.48	\$ 7.34	4360653.902	0.338288509	\$ 3,501,050.52	\$ 70,021.01
18	2028	\$ 1.52	\$ 7.56	4351932.595	0.337611932	\$ 3,598,869.88	\$ 71,977.40
19	2029	\$ 1.57	\$ 7.79	4343228.729	0.336936708	\$ 3,699,422.30	\$ 73,988.45
20	2030	\$ 1.61	\$ 8.02	4334542.272	0.336262835	\$ 3,802,784.16	\$ 76,055.68

Fuente Elaboración propia

**Tabla B.5: Desarrollo de cálculos del sistema convencional parte 2**

<b>SISTEMA CONVENCIONAL</b>					
N°	Año	Consumo Kvhe	Factor de demanda	Costo Fact. Eléc.	Costo total convencional
1	2011	582125.1264	0.8016	\$ 535,555.12	\$ 2,833,366.06
2	2012	583289.3767	0.8032032	\$ 552,725.01	\$ 2,914,736.80
3	2013	584455.9554	0.80480961	\$ 570,445.38	\$ 2,998,451.77
4	2014	585624.8673	0.80641923	\$ 588,733.86	\$ 3,084,578.75
5	2015	586796.1171	0.80803206	\$ 607,608.66	\$ 3,173,187.46
6	2016	587969.7093	0.80964813	\$ 627,088.60	\$ 3,264,349.67
7	2017	589145.6487	0.81126742	\$ 647,193.06	\$ 3,358,139.20
8	2018	590323.394	0.81288996	\$ 667,942.07	\$ 3,454,632.05
9	2019	591504.5879	0.81451574	\$ 689,356.29	\$ 3,553,906.39
10	2020	592687.5971	0.81614477	\$ 711,457.05	\$ 3,656,042.68
11	2021	593872.9723	0.81777706	\$ 734,266.37	\$ 3,761,123.72
12	2022	595060.7182	0.81941261	\$ 757,806.95	\$ 3,869,234.69
13	2023	596250.8396	0.82105144	\$ 782,102.24	\$ 3,980,463.27
14	2024	597443.3413	0.82269354	\$ 807,176.43	\$ 4,094,899.68
15	2025	598638.228	0.82433893	\$ 833,054.51	\$ 4,212,636.74
16	2026	599835.5045	0.82598761	\$ 859,762.24	\$ 4,333,769.99
17	2027	601035.1755	0.82763958	\$ 887,326.21	\$ 4,458,397.75
18	2028	602237.2458	0.82929486	\$ 915,773.89	\$ 4,586,621.17
19	2029	603441.7203	0.83095345	\$ 945,133.60	\$ 4,718,544.35
20	2030	604648.6037	0.83261536	\$ 975,434.59	\$ 4,854,274.43

Elaboración propia

**Tabla B.6: Costo total del sistema convencional**

inversión sistema energético					
capacidad térmica	150 CC	\$	484.20	dol/CC	
		\$	72,630.00	dol	
			12 meses	\$	871,560.00 inversión

Fuente: Elaboración propia

**Tabla B.7: Desarrollo de cálculos sistema CHP y convencional parte 1**

<b>SISTEMA CHP + CONVENCIONAL</b>								
N°	Año	Precio \$/KWh	Precio residuo	Generación KVht	Factor planta eléctrico	Costo combustible	Costo O&M eléctrico	Consumo KVhe
1	2011	\$ 0.44	\$ 0.08	3674306.98	0.85828	\$ 267,419.17	\$ 12,033.86	625784.5109
2	2012	\$ 0.45	\$ 0.08	3666958.37	0.85656344	\$ 274,890.87	\$ 12,370.09	627036.0799
3	2013	\$ 0.47	\$ 0.08	3659624.45	0.854850313	\$ 282,571.32	\$ 12,715.71	628290.1521
4	2014	\$ 0.48	\$ 0.09	3652305.2	0.853140612	\$ 290,466.36	\$ 13,070.99	629546.7324
5	2015	\$ 0.50	\$ 0.09	3645000.59	0.851434331	\$ 298,581.99	\$ 13,436.19	630805.8258
6	2016	\$ 0.51	\$ 0.09	3637710.59	0.849731463	\$ 306,924.37	\$ 13,811.60	632067.4375
7	2017	\$ 0.53	\$ 0.10	3630435.17	0.848032	\$ 315,499.84	\$ 14,197.49	633331.5724
8	2018	\$ 0.54	\$ 0.10	3623174.3	0.846335936	\$ 324,314.90	\$ 14,594.17	634598.2355
9	2019	\$ 0.56	\$ 0.10	3615927.95	0.844643264	\$ 333,376.26	\$ 15,001.93	635867.432
10	2020	\$ 0.58	\$ 0.10	3608696.09	0.842953977	\$ 342,690.79	\$ 15,421.09	637139.1668
11	2021	\$ 0.59	\$ 0.11	3601478.7	0.841268069	\$ 352,265.57	\$ 15,851.95	638413.4452
12	2022	\$ 0.61	\$ 0.11	3594275.74	0.839585533	\$ 362,107.88	\$ 16,294.85	639690.2721
13	2023	\$ 0.63	\$ 0.11	3587087.19	0.837906362	\$ 372,225.17	\$ 16,750.13	640969.6526
14	2024	\$ 0.65	\$ 0.12	3579913.02	0.836230549	\$ 382,625.14	\$ 17,218.13	642251.5919
15	2025	\$ 0.67	\$ 0.12	3572753.19	0.834558088	\$ 393,315.69	\$ 17,699.21	643536.0951
16	2026	\$ 0.69	\$ 0.12	3565607.68	0.832888972	\$ 404,304.93	\$ 18,193.72	644823.1673
17	2027	\$ 0.71	\$ 0.13	3558476.47	0.831223194	\$ 415,601.21	\$ 18,702.05	646112.8136
18	2028	\$ 0.73	\$ 0.13	3551359.52	0.829560748	\$ 427,213.10	\$ 19,224.59	647405.0392
19	2029	\$ 0.75	\$ 0.14	3544256.8	0.827901626	\$ 439,149.44	\$ 19,761.72	648699.8493
20	2030	\$ 0.77	\$ 0.14	3537168.28	0.826245823	\$ 451,419.27	\$ 20,313.87	649997.249

Fuente: Elaboración propia

**Tabla B.8: Desarrollo de cálculos del sistema CHP y convencional parte 2**

<b>SISTEMA CHP + CONVENCIONAL</b>							
N°	Año	Factor de demanda	Excedente eléctrico	Ingreso venta excedentes	Ingreso total CHP	Costo total convencional	Ahorro Conv. vs CHP
1	2011	0.86172	3048522.47	\$ 1,346,227.52	\$ 1,066,774.48	\$ 2,833,366.06	\$ 3,900,140.55
2	2012	0.86344344	3039922.29	\$ 1,382,702.57	\$ 1,095,441.62	\$ 2,914,736.80	\$ 4,010,178.41
3	2013	0.86517033	3031334.3	\$ 1,420,160.23	\$ 1,124,873.21	\$ 2,998,451.77	\$ 4,123,324.98
4	2014	0.86690067	3022758.47	\$ 1,458,626.79	\$ 1,155,089.44	\$ 3,084,578.75	\$ 4,239,668.19
5	2015	0.86863447	3014194.76	\$ 1,498,129.22	\$ 1,186,111.04	\$ 3,173,187.46	\$ 4,359,298.50
6	2016	0.87037174	3005643.15	\$ 1,538,695.22	\$ 1,217,959.26	\$ 3,264,349.67	\$ 4,482,308.92
7	2017	0.87211248	2997103.59	\$ 1,580,353.23	\$ 1,250,655.90	\$ 3,358,139.20	\$ 4,608,795.10
8	2018	0.87385671	2988576.06	\$ 1,623,132.42	\$ 1,284,223.34	\$ 3,454,632.05	\$ 4,738,855.39
9	2019	0.87560442	2980060.52	\$ 1,667,062.74	\$ 1,318,684.55	\$ 3,553,906.39	\$ 4,872,590.94
10	2020	0.87735563	2971556.93	\$ 1,712,174.96	\$ 1,354,063.08	\$ 3,656,042.68	\$ 5,010,105.76
11	2021	0.87911034	2963065.25	\$ 1,758,500.63	\$ 1,390,383.10	\$ 3,761,123.72	\$ 5,151,506.82
12	2022	0.88086856	2954585.47	\$ 1,806,072.14	\$ 1,427,669.41	\$ 3,869,234.69	\$ 5,296,904.10
13	2023	0.8826303	2946117.54	\$ 1,854,922.76	\$ 1,465,947.46	\$ 3,980,463.27	\$ 5,446,410.73
14	2024	0.88439556	2937661.42	\$ 1,905,086.62	\$ 1,505,243.35	\$ 4,094,899.68	\$ 5,600,143.02
15	2025	0.88616435	2929217.1	\$ 1,956,598.75	\$ 1,545,583.85	\$ 4,212,636.74	\$ 5,758,220.59
16	2026	0.88793668	2920784.52	\$ 2,009,495.11	\$ 1,586,996.46	\$ 4,333,769.99	\$ 5,920,766.45
17	2027	0.88971255	2912363.66	\$ 2,063,812.61	\$ 1,629,509.35	\$ 4,458,397.75	\$ 6,087,907.10
18	2028	0.89149198	2903954.48	\$ 2,119,589.15	\$ 1,673,151.46	\$ 4,586,621.17	\$ 6,259,772.63
19	2029	0.89327496	2895556.95	\$ 2,176,863.61	\$ 1,717,952.45	\$ 4,718,544.35	\$ 6,436,496.80
20	2030	0.89506151	2887171.03	\$ 2,235,675.90	\$ 1,763,942.76	\$ 4,854,274.43	\$ 6,618,217.19

Fuente: Elaboración propia

**Tabla B.9: Costo total del sistema CHP y convencional**

inversión sistema energético			
CHP TG 544 Kw y gasificador capacidad bruta	\$	1,300.00 dol/Kw	
		543.2 Kw	
	\$	706,160.00 dol	
		12 meses	\$ 8,473,920.00 inversión

Fuente: Elaboración propia

**Tabla B.10: Esquema financiero**

ESQUEMA FINANCIERO					
Tasa de interés del financiamiento			0.061		6 pagos iguales (anuales)
apalancamiento			0.8		
inversión inicial			\$ 8,473,920.00		\$ 6,779,136.00 inversión (préstamo del banco)
					\$ 1,694,784.00 inversión personal
durante la construcción					
intereses	amortización	pagos		saldo	
\$ 413,527.30	\$ -969,430.08	\$ -1,382,957.38	\$ 5,809,705.92		
\$ 354,392.06	\$ -1,028,565.32	\$ -1,382,957.38	\$ 4,781,140.60		
\$ 291,649.58	\$ -1,091,307.80	\$ -1,382,957.38	\$ 3,689,832.80		
\$ 225,079.80	\$ -1,157,877.58	\$ -1,382,957.38	\$ 2,531,955.22		
\$ 154,449.27	\$ -1,228,508.11	\$ -1,382,957.38	\$ 1,303,447.11		
\$ 79,510.27	\$ -1,303,447.11	\$ -1,382,957.38	\$ -		
	\$ -6,779,136.00	\$ -8,297,744.28			
		\$ 1,518,608.28			CANTIDAD EXTRA QUE SE PAGA AL BANCO
troma	18.00%				

Fuente: Elaboración propia

**Tabla B.11: Solo sistema CHP**

SOLO SE TOMA EN CUENTA CHP						
N°	ingreso total CHP	inversión	ingreso total CHP	Flujo neto sin pagos fijos	Flujo neto con pagos fijos	Resultado neto anual
			-\$ 8,473,920.00			-\$ 8,473,920.00
1	\$ 1,066,774.48		\$ 1,066,774.48	-\$ 7,407,145.52	-\$ 8,790,102.89	-\$ 316,182.89
2	\$ 1,095,441.62		\$ 1,095,441.62	-\$ 6,311,703.90	-\$ 9,077,618.66	-\$ 287,515.76
3	\$ 1,124,873.21		\$ 1,124,873.21	-\$ 5,186,830.69	-\$ 9,335,702.83	-\$ 258,084.17
4	\$ 1,155,089.44		\$ 1,155,089.44	-\$ 4,031,741.25	-\$ 9,563,570.77	-\$ 227,867.94
5	\$ 1,186,111.04		\$ 1,186,111.04	-\$ 2,845,630.21	-\$ 9,760,417.11	-\$ 196,846.34
6	\$ 1,217,959.26		\$ 1,217,959.26	-\$ 1,627,670.96	-\$ 9,925,415.23	-\$ 164,998.12
7	\$ 1,250,655.90		\$ 1,250,655.90	-\$ 377,015.06	-\$ 8,674,759.34	\$ 1,250,655.90
8	\$ 1,284,223.34		\$ 1,284,223.34	\$ 907,208.28	-\$ 7,390,535.99	\$ 1,284,223.34
9	\$ 1,318,684.55		\$ 1,318,684.55	\$ 2,225,892.83	-\$ 6,071,951.44	\$ 1,318,684.55
10	\$ 1,354,063.08		\$ 1,354,063.08	\$ 3,579,955.91	-\$ 4,717,788.36	\$ 1,354,063.08
11	\$ 1,390,383.10		\$ 1,390,383.10	\$ 4,970,339.01	-\$ 3,327,405.26	\$ 1,390,383.10
12	\$ 1,427,669.41		\$ 1,427,669.41	\$ 6,398,008.43	-\$ 1,899,735.85	\$ 1,427,669.41
13	\$ 1,465,947.46		\$ 1,465,947.46	\$ 7,863,955.89	-\$ 433,788.39	\$ 1,465,947.46
14	\$ 1,505,243.35		\$ 1,505,243.35	\$ 9,369,199.24	\$ 1,071,454.96	\$ 1,505,243.35
15	\$ 1,545,583.85		\$ 1,545,583.85	\$ 10,914,783.09	\$ 2,617,038.81	\$ 1,545,583.85
16	\$ 1,586,996.46		\$ 1,586,996.46	\$ 12,501,779.55	\$ 4,204,035.27	\$ 1,586,996.46
17	\$ 1,629,509.35		\$ 1,629,509.35	\$ 14,131,288.90	\$ 5,833,544.63	\$ 1,629,509.35
18	\$ 1,673,151.46		\$ 1,673,151.46	\$ 15,804,440.36	\$ 7,506,696.09	\$ 1,673,151.46
19	\$ 1,717,952.45		\$ 1,717,952.45	\$ 17,522,392.81	\$ 9,224,648.54	\$ 1,717,952.45
20	\$ 1,763,942.76		\$ 1,763,942.76	\$ 19,286,335.57	\$ 10,988,591.30	\$ 1,763,942.76
<b>YPN</b>	<b>\$6,533,534.67</b>	<b>YPN</b>	<b>-\$ 1,940,385.33</b>		<b>YPN</b>	<b>\$1,696,499.40</b>

Fuente: Elaboración propia

**Tabla B.13: Esquemas económico y financiero**

ESQUEMA ECONOMICO		ESQUEMA FINANCIERO	
YPN	-\$ 1,940,385.33	YPN	-\$ 6,779,136.00
AE	-\$362,502.75	AE	-\$1,266,478.06
BC	0.771016799	BC	0.200202433
TIR	13.61%	TIR	5.88%
TIRM	16.48%	TIRM	10.47%
PR simple	7.293574371	PR simple	13.28818489

Fuente: Elaboración propia

**Tabla B.14: Sistema CHP + sistema convencional**

SE TOMA EN CUENTA EL SISTEMA CHP + EL CONVENCIONAL								
N°	Ingreso CHP + costo convencional = ahorro			inversión	AHORRO Conv. Vs CHP	Flujo neto sin pagos fijos	Flujo neto con pagos fijos	resultado neto anual
	ingreso total CHP	Costo total convencional	Ahorro Conv. vs CHP					
				<b>inversión</b>	<b>-\$ 8,473,920.00</b>			<b>-\$ 8,473,920.00</b>
1	\$ 1,066,774.48	\$ 2,833,366.06	\$ 3,900,140.55		\$ 3,900,140.55	-\$ 4,573,779.45	-\$ 5,956,736.83	\$ 2,517,183.17
2	\$ 1,095,441.62	\$ 2,914,736.80	\$ 4,010,178.41		\$ 4,010,178.41	-\$ 563,601.04	-\$ 3,329,515.80	\$ 2,627,221.03
3	\$ 1,124,873.21	\$ 2,998,451.77	\$ 4,123,324.98		\$ 4,123,324.98	\$ 3,559,723.94	-\$ 589,148.20	\$ 2,740,367.60
4	\$ 1,155,089.44	\$ 3,084,578.75	\$ 4,239,668.19		\$ 4,239,668.19	\$ 7,799,392.13	\$ 2,267,562.61	\$ 2,856,710.81
5	\$ 1,186,111.04	\$ 3,173,187.46	\$ 4,359,298.50		\$ 4,359,298.50	\$ 12,158,690.63	\$ 5,243,903.73	\$ 2,976,341.12
6	\$ 1,217,959.26	\$ 3,264,349.67	\$ 4,482,308.92		\$ 4,482,308.92	\$ 16,640,999.55	\$ 8,343,255.28	\$ 3,099,351.54
7	\$ 1,250,655.90	\$ 3,358,139.20	\$ 4,608,795.10		\$ 4,608,795.10	\$ 21,249,794.65	\$ 12,952,050.37	\$ 4,608,795.10
8	\$ 1,284,223.34	\$ 3,454,632.05	\$ 4,738,855.39		\$ 4,738,855.39	\$ 25,988,650.04	\$ 17,690,905.76	\$ 4,738,855.39
9	\$ 1,318,684.55	\$ 3,553,906.39	\$ 4,872,590.94		\$ 4,872,590.94	\$ 30,861,240.98	\$ 22,563,496.70	\$ 4,872,590.94
10	\$ 1,354,063.08	\$ 3,656,042.68	\$ 5,010,105.76		\$ 5,010,105.76	\$ 35,871,346.74	\$ 27,573,802.46	\$ 5,010,105.76
11	\$ 1,390,383.10	\$ 3,761,123.72	\$ 5,151,506.82		\$ 5,151,506.82	\$ 41,022,853.55	\$ 32,725,109.28	\$ 5,151,506.82
12	\$ 1,427,669.41	\$ 3,869,234.69	\$ 5,296,904.10		\$ 5,296,904.10	\$ 46,319,757.66	\$ 38,022,013.38	\$ 5,296,904.10
13	\$ 1,465,947.46	\$ 3,980,463.27	\$ 5,446,410.73		\$ 5,446,410.73	\$ 51,766,168.39	\$ 43,468,424.11	\$ 5,446,410.73
14	\$ 1,505,243.35	\$ 4,094,899.68	\$ 5,600,143.02		\$ 5,600,143.02	\$ 57,366,311.41	\$ 49,068,567.13	\$ 5,600,143.02
15	\$ 1,545,583.85	\$ 4,212,636.74	\$ 5,758,220.59		\$ 5,758,220.59	\$ 63,124,532.00	\$ 54,826,787.73	\$ 5,758,220.59
16	\$ 1,586,996.46	\$ 4,333,769.99	\$ 5,920,766.45		\$ 5,920,766.45	\$ 69,045,298.46	\$ 60,747,554.18	\$ 5,920,766.45
17	\$ 1,629,509.35	\$ 4,458,397.75	\$ 6,087,907.10		\$ 6,087,907.10	\$ 75,133,205.56	\$ 66,835,461.28	\$ 6,087,907.10
18	\$ 1,673,151.46	\$ 4,586,621.17	\$ 6,259,772.63		\$ 6,259,772.63	\$ 81,392,978.19	\$ 73,095,233.91	\$ 6,259,772.63
19	\$ 1,717,952.45	\$ 4,718,544.35	\$ 6,436,496.80		\$ 6,436,496.80	\$ 87,829,474.99	\$ 79,531,730.71	\$ 6,436,496.80
20	\$ 1,763,942.76	\$ 4,854,274.43	\$ 6,618,217.19		\$ 6,618,217.19	\$ 94,447,692.18	\$ 86,149,947.90	\$ 6,618,217.19
		<b>YPN</b>	<b>\$ 24,059,189.53</b>	<b>YPN</b>	<b>\$ 15,585,269.53</b>		<b>YPN</b>	<b>\$19,222,154.26</b>

Fuente: Elaboración propia

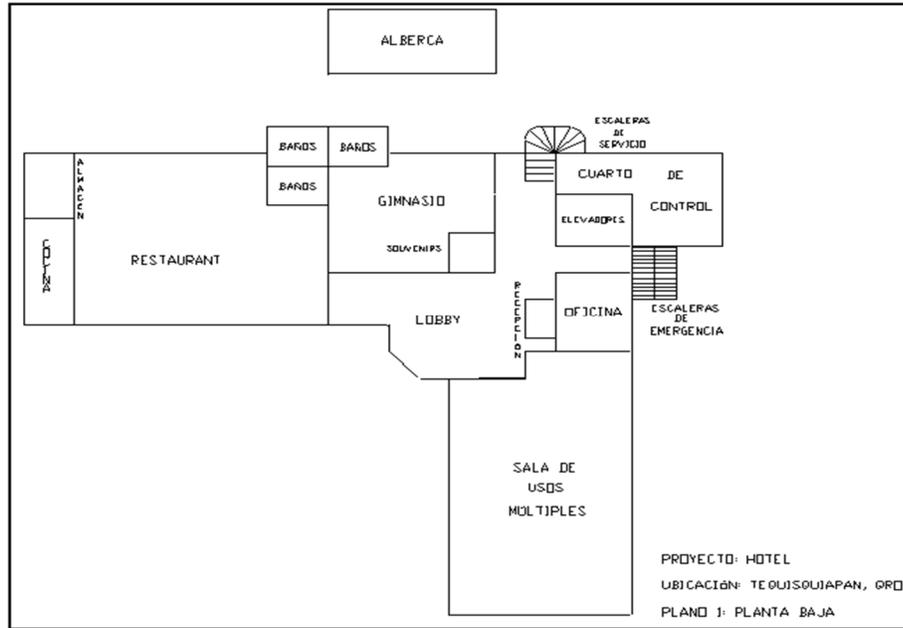
**Tabla B.15: Esquemas económico y financiero**

ESQUEMA ECONOMICO		ESQUEMA FINANCIERO	
YPN	\$ 15,585,269.53	YPN	\$17,527,370.26
AE	\$ 2,911,639.76	AE	\$ 3,274,462.98
BC	2.839204233	BC	2.268389867
TIR	48.82%	TIR	36.01%
TIRM	24.32%	TIRM	22.93%
PR simple	2.136686059	PR simple	3.206233056

Fuente: Elaboración propia

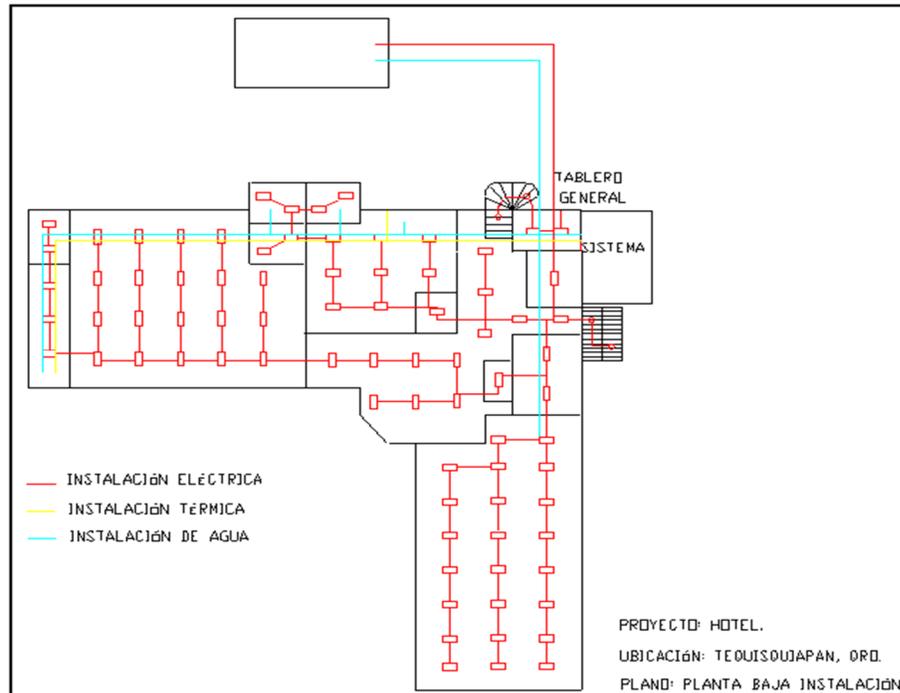
## ANEXO C: Planos generales del Hotel en Tequisquiapan, Querétaro.

Figura C.1: Plano general del hotel



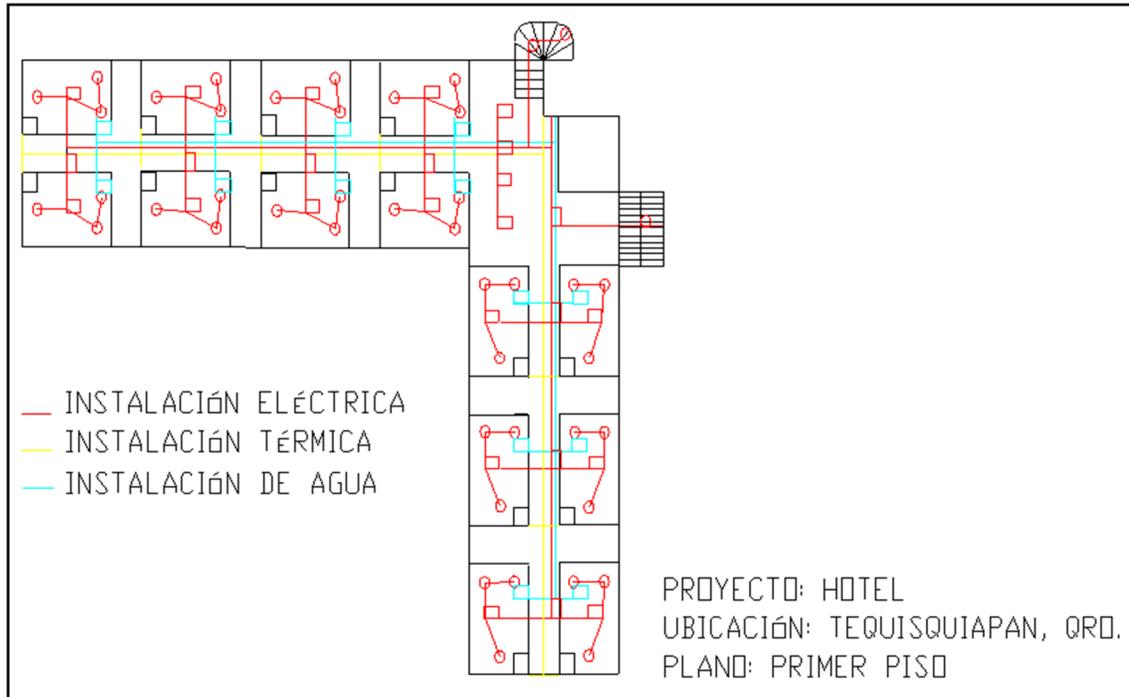
Fuente: Elaboración propia

Figura C.2: Plano de planta baja



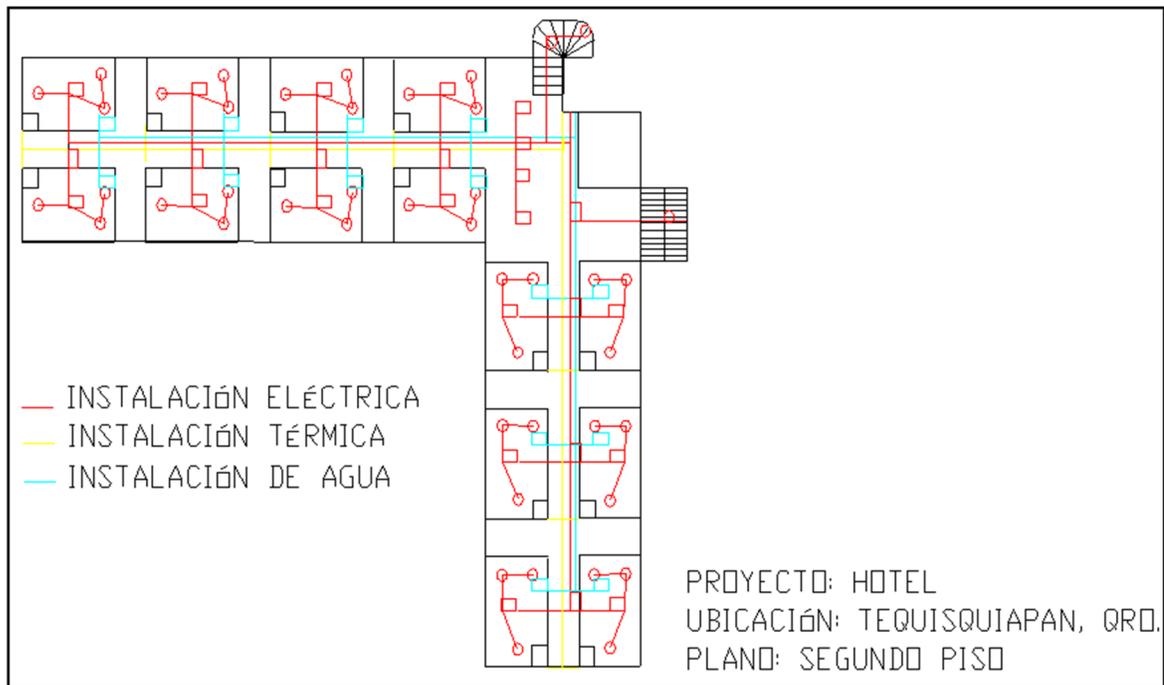
Fuente: Elaboración propia

**Figura C.3: Plano primer piso**



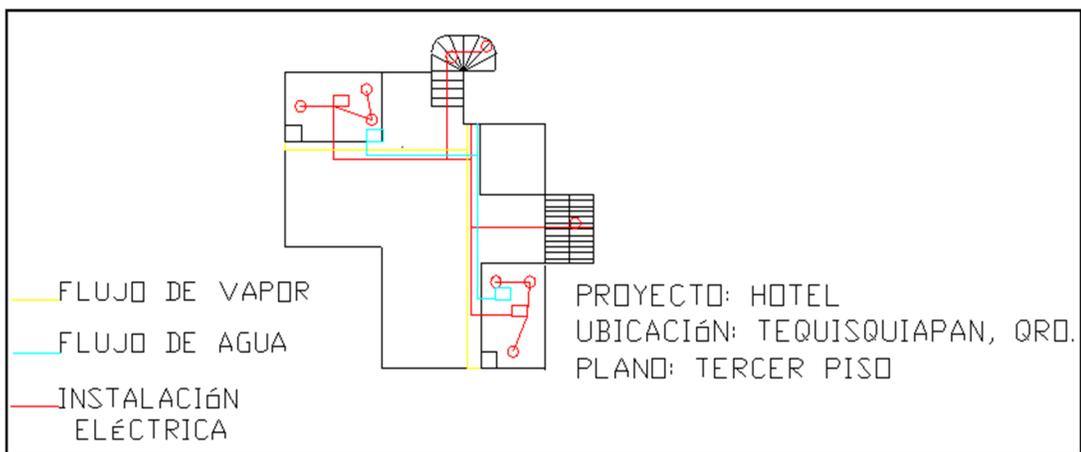
**Fuente: elaboración propia**

**Figura C.4: Plano segundo piso**



**Fuente: Elaboración propia**

**Figura C.5: Plano tercer piso**



**Fuente:** Elaboración propia

<b>Índice de figuras</b>		
<b>Figura</b>	<b>Descripción</b>	
1.1	Central hidroeléctrica	14
1.2	Ciclo del agua	14
1.3	Energía solar	15
1.4	Energía eólica	16
1.5	Energía de biomasa	18
1.6	Energía mareomotriz	19
1.7	Equipo instalado en el mar	19
1.8	Energía geotermal	20
1.9	Cogeneración	21
1.10	Procesos Industriales	21
1.11	Sistema superior con de turbina de gas	22
1.12	Sistema superior de turbina de vapor	22
1.13	Sistema inferior con turbina de gas	23
1.14	Cogeneración con turbina de vapor	24
1.15	Cogeneración con turbina de gas	24
1.16	Cogeneración con ciclo combinado	25
1.17	Cogeneración con motor alternativo	25
1.18	Eficiencia y relación Q/E	26
1.19	Cogeneración vs cogeneración convencional	26
1.20	Central hidroeléctrica Krasnoyarsk, Rusia.	30
1.21	Central termoeléctrica Velilla, España.	30
1.22	Central nuclear Cattonen, Francia.	30
1.23	Central geotérmica Puhagen, Filipinas.	31
1.24	Modo de transformación, subestación Río escondido; Coahuila.	32
1.25	Líneas de transmisión	33
1.26	Sistemas de distribución, subestación Teotihuacán, Estado de México.	35
1.27	Sistemas de control e instrumentación en una subestación	36
1.28	Acometida	38
1.29	Transmisión de la energía eléctrica	39
1.30	Tubo conduit	42
1.31	Ductos	42
1.32	Charolas	42
1.33	Sistemas de iluminación	45
1.34	Sistemas de monitoreo y medición	46
1.35	Diagrama DTI (realizado con le programa Autocad)	47
1.36	Principales centros de consumo de agua caliente	48
1.37	Sistema chiller	50
1.38	Sistema de refrigeración	51
1.39	Tipo de alberca prototipo	51
2.1	División política del Estado de Querétaro	53
2.2	Lugar de construcción	54
2.3	Esquema de la instalación térmica	70
2.4	Simulación de balance preliminar de flujos	71
2.5	Simulación de balance preliminar de flujos	71
3.1	Planta de gasificación	83
3.2	Planta de incineración	84
3.3	Proceso de metanización	85
3.4	Esquema básico de la producción de biogás	86
3.5	Esquema básico de un biodigestor	87

3.6	Cuatro tiempos del motor de combustión interna	88
3.7	Planta de combustión interna	89
3.8	Funcionamiento de una turbina	89
3.9	Esquema de estructura del gasificador	96
3.10	Esquema del equipo de generación eléctrica (turbina de gas)	97
3.11	Esquema del evaporador	97
3.12	Esquema del economizador	98
3.13	Esquema de la chimenea	98
3.14	Esquema del cabezal o maniful	99
3.15	Esquema del sistema de aire acondicionado	100
3.16	Esquema del sistema de alberca	101
3.17	Esquema de distribución a regaderas, cocina, lavabos y lavandería.	101
3.18	Esquema de la estructura del boiler	103
3.19	Esquema de la chimenea	104
3.20	Esquema del cabezal o maniful	104
3.21	Esquema del sistema de aire acondicionado	105
3.22	Esquema del sistema de la alberca	106
3.23	Esquema de distribución a regaderas, cocina , lavabos y lavandería	107

### Índice de tablas

Tabla	Descripción	
1.1	Potencial de biomasa en México	18
1.2	Ventajas y desventajas de un sistema de cogeneración	23
1.3	Tipos de tecnología relación Q/E	25
1.4	Rendimiento energético	28
1.5	Cargas de alumbrado	43
2.1	Materiales para construcción	55
2.2	Parámetros de confort	59
2.3	Consumo eléctrico	61
2.4	Cargas por fase	61
2.5	Necesidades de agua caliente	64
2.6	Necesidades de aire acondicionado	65
2.7	Resultados	65
2.8	Resultados	65
2.9	Resultados de las necesidades de agua caliente	66
2.10	Consumo de agua caliente	67
2.11	Resultados	67
2.12	Resultados	68
2.13	Resultados	69
2.14	Resultados	69
2.15	Demanda eléctrica total	69
2.16	Maíz de grano (riego)	72
2.17	Maíz forrajero	72
2.18	Jitomate	73
2.19	Sorgo (grano)	73
2.20	Avena forrajera	73
2.21	Maíz de grano (temporal)	74
2.22	Frijol	74
2.23	Alfalfa verde	74
2.24	Volumen de producción en miles de toneladas	75
3.1	Conversión de la biomasa	81

3.2	Transformación de procesos	82
3.3	Transformación de procesos	83
3.4	Poder calorífico de combustibles	90
3.5	Comparación de las diferentes tecnologías de cogeneración	94
3.6	Resultados del proceso	96
3.7	Parámetros contemplados en el diseño	96
3.8	Resultados del proceso	97
3.9	Resultados del proceso	98
3.10	Resultados del proceso	98
3.11	Resultados del proceso	99
3.12	Resultados del proceso	99
3.13	Resultados del proceso	100
3.14	Resultados del proceso	101
3.15	Resultados del proceso	102
3.16	Resultados obtenidos de la simulación en el programa Thermoflex	102
3.17	Resultados del proceso	103
3.18	Parámetros que se contemplan en el diseño	103
3.19	Resultados del proceso	104
3.20	Resultados del proceso	105
3.21	Resultados del proceso	106
3.22	Resultados del proceso	106
3.23	Resultados del proceso	107
3.24	Resultados obtenidos con de la simulación con el programa Thermoflex	107
4.1	Tabla de poderes caloríficos de combustibles	111
4.2	Datos generales	116
4.3	Resumen de cálculos el sistema convencional parte 1	119
4.4	Resumen de cálculos el sistema convencional parte 2	119
4.5	Inversión total	120
4.6	Costos de adquisición e instalación de calderas TH 150 psi	120
4.7	Resultados obtenidos del sistema CHP + convencional parte 1	125
4.8	Resultados obtenidos del sistema CHP + convencional parte 2	125
4.9	Inversión total	126
4.10	Resultados de la inversión	126
4.11	Cálculo con sistema CHP	127
4.12	Comparación de los esquemas	127
4.13	Cálculo con sistema CHP + convencional	128
4.14	Comparación de los esquemas	128
1.15	Evaluación económica solo CHP	129
4.16	Evaluación financiera solo CHP	130
4.17	Evaluación económica solo CHP + convencional	131
4.18	Evaluación financiera solo CHP + convencional	132

## Glosario de términos

**Acometida:** Derivación que conecta la red del suministrador de energía eléctrica a las instalaciones del usuario. Se aplica también al punto o lugar de alimentación a equipos o subestaciones eléctricas

**Aire acondicionado:** Término que comúnmente se utiliza para definir que un recinto o lugar cuenta con enfriamiento de aire.

**Apartarrayos:** Dispositivo de protección que limita las sobre tensiones transitorias en los circuitos y equipos eléctricos, descargando la sobre corriente transitoria asociada; previene el flujo continuo de corriente a tierra y es capaz de repetir esta función.

**Bases de usuario:** Documentación en la que se establecen las necesidades de servicio por parte del usuario y el alcance general de los trabajos a desarrollar por parte del prestador de servicios.

**Bases de diseño:** Documentación basada en los requerimientos establecidos en las bases de usuario y es el conjunto de información técnica específica requerida para la elaboración de un proyecto.

**Bases técnicas de licitación:** Es el compendio de los documentos que contienen los requisitos técnicos referente a los trabajos que se va a desarrollar, con los que deben cumplir los interesados en participar en la licitación

**Bioenergía:** Energía que se obtiene de materia de origen biológico.

**Biogás:** Son los gases creados por la fermentación anaeróbica de materiales biológicos.

**Bombas de circulación de agua:** Unidad encargada de impulsar agua a una instalación térmica.

**Caja para tubería (condulet):** Caja diseñada para proporcionar acceso al interior del tubo a través de una o más cubiertas removibles.

**Caldera:** Artefacto destinado a transferir al agua el calor liberado por la combustión.

**Calefacción:** Proceso que aporta calor a un lugar o recinto.

**Calefactor:** Artefacto destinado a generar calor y entregarlo al ambiente para elevar la temperatura de éste.

**Canalización:** Canal cerrado o abierto de materiales metálicos o no metálicos, expresamente diseñados para contener conductores eléctricos.

**Conductor de puesta a tierra:** Conductor utilizado para conectar a tierra un equipo o el circuito de un sistema de alumbrado, al electrodo o electrodos de puesta a tierra.

**Conector (conectador) tipo compresión:** Dispositivo mecánico que se usa para unir dos conductores eléctricos en el cual la presión para fijar el conector se aplica externamente, modificando el tamaño y la forma del conector y del conductor.

**Charola:** Es una sección o conjunto de secciones y accesorios, que forman un sistema estructural rígido abierto, metálico o no metálico para soportar y alojar conductores eléctricos.

**Climatización:** Acción y efecto de climatizar, es decir, dar a un espacio cerrado las condiciones de temperatura, humedad relativa, pureza del aire y a veces presión, necesarias para el bienestar de las personas y/o conservación de productos; la climatización comprende las áreas de calefacción, ventilación y aire acondicionado.

**Empalme:** Dispositivo cuya función es asegurar la continuidad eléctrica y mecánica de dos tramos de conductores

**Cogeneración:** Es la producción secuencial de energía eléctrica y/o mecánica y energía térmica aprovechable en los procesos industriales a partir de una misma fuente de energía primaria.

**Fan-coil:** Unidad de tratamiento térmico de aire de bajo caudal, compuesto por filtros, serpentín de enfriamiento y/o calefacción y ventiladores, se utiliza en espacios reducidos.

**Manejadora de aire (UMA-UTA):** equipo de tratamiento térmico para aire, compuesto por filtros, serpentín de enfriamiento y/o calefacción y ventiladores.

**Máquina enfriadora (Chiller):** Unidad que enfría un fluido portador, como por ejemplo agua para alimentar unidades interiores de climatización (unidad manejadora de aire, fan-coil).

**Memorias de cálculo:** Son los cálculos de ingeniería de diseño que se realizan y que sirven de base para el desarrollo de la ingeniería básica y de detalle y permiten definir las especificaciones de equipos y materiales.

**Pararrayos:** Dispositivo de protección contra las descargas atmosféricas que se conecta directamente a tierra, sin interconexión al sistema eléctrico.

**Poder calorífico bruto (PCB):** Es la cantidad total de energía contenida en el combustible. Sin embargo la mayoría de los combustibles contiene hidrógeno, que durante el proceso de combustión se mezcla con el oxígeno del aire para formar agua, la cual se disipa en vapor.

**Poder calorífico neto (PCN):** Es la cantidad de calor que se produce en la combustión, con exclusión de 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 PCB y PCN

**Pirolisis:** Ruptura por calor o descomposición térmica en ausencia de oxígeno

**Red de tierras:** Es una red de protección usada para establecer un potencial uniforme en y alrededor de alguna estructura metálica, líneas de proceso y equipos. Está unido sólidamente a electrodos de tierra.

**Resistencia de conexión a tierra:** Es la resistencia de conexión a tierra del sistema, medida respecto a una tierra remota, o ala determinada por la formula de Laurent.

**Resistividad del suelo:** Es la resistencia por unidad de longitud, específica del terreno, determinada en el lugar donde se localiza o se va a localizar el sistema a tierra.

**Tierra (suelo):** Elemento de dispersión o atenuación de las corrientes eléctricas.

**Torre de enfriamiento:** Unidad de enfriamiento que evapora el agua, utilizada para disipar calor al medio ambiente.

**Unidad condensadora:** Unidad que condensa el fluido refrigerante para alimentar las unidades evaporadoras.

**Unidad evaporadora:** Unidad de tratamiento de aire compuesto por filtros, serpentinas de expansión directa y ventiladores.

## **Símbolos**

Los símbolos de unidades de medida que se utilicen deben de cumplir con la NOM-008-SCFI de acuerdo con lo siguiente:

<b>A</b>	Ampere
<b>°C</b>	Grado centígrado
<b>d</b>	Día
<b>Ω</b>	Ohm
<b>h</b>	Hora
<b>Hz</b>	Hertz
<b>kg</b>	Kilogramo
<b>K</b>	Kelvin
<b>lm</b>	lumen
<b>Lx</b>	Lux
<b>m</b>	Metro
<b>s</b>	Segundo
<b>V</b>	Volt
<b>W</b>	Watt

## Abreviaturas

<b>ACSR</b>	Aluminum Conductor Steel Reinforced (Conductor de aluminio reforzado con acero)
<b>ANCE</b>	Asociación de Normalización y Certificación, A.C.
<b>ANSI</b>	American National Standards Institute (Instituto Americano de Normas Nacionales)
<b>API</b>	American Petroleum Institute (Instituto Americano del Petróleo)
<b>AWG</b>	American Wire Gauge (Calibre Americano de Conductores)
<b>CC</b>	Caballos de caldera
<b>CP</b>	Caballos de potencia (Horse power)
<b>c.a.</b>	Corriente alterna
<b>c.c.</b>	Corriente directa
<b>CCM</b>	Centro de control de motores
<b>CFE</b>	Comisión Federal de Electricidad
<b>CONUEE</b>	Comisión Nacional para el uso eficiente de la energía
<b>f.p.</b>	Factor de potencia
<b>ICEA</b>	Insulated Cable Engineers Association (Comisión de Ingenieros de Cables Aislados)
<b>IEC</b>	International Electrotechnical Commission (Comisión Electrotécnica Internacional)
<b>IEEE</b>	Institute of Electrical and Electronics Engineers (Instituto de Ingenieros en Electricidad y Electrónica)
<b>ISA</b>	Instruments Standards Association (Asociación de Normas de Instrumentos)
<b>kV</b>	Kilovolt
<b>kVA</b>	Kilovoltampere
<b>kW</b>	Kilowatt
<b>kWh</b>	Kilowatt-hora
<b>LED</b>	Light Emissor Diode (Diodo emisor de luz)
<b>MVA</b>	Megavoltampere
<b>MW</b>	Megawatt
<b>NEMA</b>	National Electrical Manufactures Association (Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos)
<b>NESC</b>	National Electric Safety Code (Código Eléctrico de Seguridad)
<b>NFPA</b>	National Fire Protection Association (Asociación Nacional de Protección Contra Incendios)
<b>NMX</b>	Norma Mexicana
<b>NOM</b>	Norma Oficial Mexicana
<b>PEMEX</b>	Petróleos Mexicanos
<b>RMS</b>	Root médium square (Raíz cuadrática media)
<b>r/m</b>	Revoluciones por minuto
<b>RTD</b>	Resistance Thermal Detector (Detector térmico por resistencia)
<b>SCD</b>	Sistema de control distribuido
<b>THHN-</b>	Aislamiento termoplástico con cubierta de nylon reistente al calor y ala
<b>THWN</b>	propagación a la flama-termoplástico con cubierta de nylon reistente a la humedad al calor y a la propagación a la flama
<b>THWN-</b>	Aislamiento termoplástico resistente a la humedad al calor y ala propagación de
<b>LS</b>	incendios, y emisión reducida de humos y gas ácido
<b>UL</b>	Underwriters Laboratories (Laboratorio de aseguradores)
<b>UVIE</b>	Unidad verificadora de instalaciones eléctricas
<b>Lcc</b>	Corriente de corto circuito
<b>s.n.m.</b>	Sobre el nivel del mar

## Bibliografía

Fundamentos de instalaciones eléctricas, Enríquez Harper, Ed. Limusa.  
NOM-001SEDE 2005 instalaciones eléctricas.  
Principios de iluminación, HOLOPHANE, 2008.  
Costos y evaluación de proyectos, José Eliseo Ocampo, CECSA.  
Notas de cogeneración, Dr. Gabriel León de los Santos.  
Manual SELMEC y HOOK UPS, Spirax Sarco.  
Artículo de eficiencia energética, CONUEE, 2010.  
Artículo de bioenergía, CONCYTEG, 2009.  
Artículo de gestión técnica y económica del sector eléctrico, 2008.  
Artículo de protección medioambiental, CONUEE, 2010.  
[www.radiowebrural.com.mx](http://www.radiowebrural.com.mx)  
[www.aldeaeducativa.com](http://www.aldeaeducativa.com)  
[www.chilerenovable.cl](http://www.chilerenovable.cl)  
[www.spanish.martinvarssavsky.net](http://www.spanish.martinvarssavsky.net)  
[www.conuee.gob.mx](http://www.conuee.gob.mx)  
[www.quimicaweb.net](http://www.quimicaweb.net)  
[www.biodiesel.com.mx](http://www.biodiesel.com.mx)  
[www.sustentator.com](http://www.sustentator.com)  
[www.elheraldociudadano.com.mx](http://www.elheraldociudadano.com.mx)  
[www.afinidadelectrica.com.ar](http://www.afinidadelectrica.com.ar)  
[www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)  
[www.capital.com.pa](http://www.capital.com.pa)  
[www.teotihuacanblogspot.com](http://www.teotihuacanblogspot.com)  
[www.aceroyyunque.com.mx](http://www.aceroyyunque.com.mx)  
[www.plussuministros.com.mx](http://www.plussuministros.com.mx)  
[www.columbia.acambiode.com](http://www.columbia.acambiode.com)  
[www.paginasprodigy.com.mx](http://www.paginasprodigy.com.mx)  
[www.matterchillerssystems.com](http://www.matterchillerssystems.com)  
[www.refriconsa.com.mx](http://www.refriconsa.com.mx)  
[www.grupoalmont.com.mx](http://www.grupoalmont.com.mx)  
[www.proteccionmedioambiental.com.mx](http://www.proteccionmedioambiental.com.mx)  
[www.sagarpa.org](http://www.sagarpa.org)  
[www.iie.org.mx](http://www.iie.org.mx)  
[www.cfe.org](http://www.cfe.org)  
[www.comimsa.com.mx](http://www.comimsa.com.mx)  
[www.recoveredenergy.com](http://www.recoveredenergy.com)  
[www.egu.es](http://www.egu.es)  
[www.biodiesel.com.mx](http://www.biodiesel.com.mx)  
[www.bibliotecadigital.com.mx](http://www.bibliotecadigital.com.mx)  
[www.fisicanet.ar](http://www.fisicanet.ar)