UNIVERSITAT DE BARCELONA

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

"Ahorro energético y cogeneración en el sector hotelero de Cozumel y la Riviera Maya (México)"

MEMORIA

Autor: Fco. Javier Mendoza Vizcaino.

Director: Dr. Miguel Villarrubia López

Convocatória: 2011-2012

Para optar al grado de Máster de Ingeniería en Energías Renovables de la UB-UPC

Màsters Universitaris

Máster Interuniversitario UB-UPC

de Ingeniería en Energía.

El **Dr. Miguel Villarrubia López**, **CERTIFICA** que, el alumno del programa de Master de Ingeniería en Energías con intensificación en Energías Renovables interuniversitario de la UB y la UPC, **Francisco Javier Mendoza Vizcaino**, ha realizado bajo mi dirección el trabajo que tiene como título:

"Ahorro energético y cogeneración en el sector hotelero de Cozumel y la Riviera Maya (México)"

Para optar por el título de Master de Ingeniería en Energía con intensificación en Renovables.

Y para que así conste, firma la presente memoria en Barcelona, España, el 10 de octubre de 2013.

Firma:

Dr. Miguel Villarrubia López

Director.

Resumen:

En este trabajo se desarrollará un ejercicio de ahorro energético y cogeneración en un hotel de Cozumel (Riviera Maya) México. Para esto, se requiere de la implementación de un sistema de conversión de los residuos orgánicos en biogás, el cual alimente a un equipo de cogeneración y así, la producción y una mejor gestión de la energía, sean una solución viable para disminuir el costo de operación y la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) buscando obtener una bonificación por esta disminución, lo que puede contribuir significativamente al desarrollo económico de la empresa.

Índice.

Agradecimientos. 5

1. Objetivos y justificación. 6
   1.1 Objetivo general. 6
   1.2 Objetivo especifico. 6
   1.3 Justificación. 6

2. Contribución de la propuesta. 7
   2.1 Contribución académica. 7
   2.2 Contribución económica. 7
   2.3 Contribución social. 7

3. Antecedentes. 8

4. Planteamiento del caso a estudiar. 10

5. Caracterización de la demanda. 15
   5.1 Caracterización del entorno. 15
   5.2 Caracterización de los residuos. 16
   5.3 Caracterización de los servicios e instalaciones. 17
   5.4 Caracterización de la energía eléctrica. 17
   5.5 Caracterización del consumo de AF y ACS. 18
   5.6 Caracterización de la ocupación y número de huéspedes y usuarios. 19

6. Solución propuesta. 21
   6.1 Cogeneración. 21
   6.2 Biogás. 32
   6.3 Red inteligente, micro-red ó Smart grid. 46

7. Balance de energía y ahorros energéticos. 53

8. Balance económico y venta de bonos de carbono. 55

9. Análisis DAFO (Debilidades Amenazas Fortalezas Oportunidades). 58

10. Conclusiones. 59

11. Bibliografía. 62

12. Anexos. 66
   12.1 Figuras. 66
   12.2 Graficas. 72
   12.3 Tablas. 86

Agradecimientos.

A Dios por la oportunidad recibida para realizar estos estudios y dejarme vivir plenamente.

A mi esposa Claudia, que tan amorosamente me ha apoyado en cada paso que he tomado.

A mis hijos Isaac e Ixchel, por tanta paciencia y amor que han demostrado hacia nuestra familia y hacia la vida.

A mis amigos y demás familiares, por el gran apoyo que nos han brindado en el transcurso de nuestra vida.

A mis profesores, que siempre me han dedicado el tiempo y la atención para lograr mis objetivos.

Al CONACyT y al COQCyT, ya que sin el apoyo de la beca que me han otorgado, no hubiera podido realizar estos estudios en particular.

1. OBJETIVOS.

1.1 Objetivo general.

El objetivo general de este trabajo es, realizar el análisis de viabilidad técnica y económica de una planta de cogeneración para producción de electricidad y agua caliente sanitaria (ACS) en un complejo hotelero, mediante la utilización de un combustible mixto, a base de Gas Licuado del petróleo (GLP) y biogás, procedente de la biodigestión anaeróbica de los residuos sólidos orgánicos que el hotel genera y lograr la gestión sustentable de éstos al utilizar el subproducto como fertilizante.

1.2 Objetivo específico.

Obtener un ahorro energético y una valorización de los desechos orgánicos generados por un hotel, disminuyendo las emisiones contaminantes, creando una conciencia medioambiental y al mismo tiempo, lograr un ahorro económico.

1.3 Justificación.

La necesidad de reducir los consumos energéticos y con esto la contaminación del medio ambiente, nace cuando en 1972, se presenta en el "Club de Ro ma: Meadows report, the limits to growth" el primer cálculo de las limitaciones de los recursos energéticos, de los que se empezó a ver un agotamiento de estos. A esta advertencia le siguieron las primeras crisis energéticas y por ello se iniciaron las reacciones mundiales en torno a este tema, una de ellas fue la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el medio ambiente celebrada en Estocolmo, en 1973 [1].

Si bajo este tema, el hotel, ve en la aplicación de ciertos objetivos y utilizando tecnologías de punta que ayuden en el logro de estos, que puede mejorar sus procesos productivos, reducir costos, agradar y satisfacer al cliente, así como lograr una imagen de protección ambiental y se observa, además, una clara interacción entre prosperidad y alta calidad del medio ambiente, reaccionará de inmediato en este sentido, [1].

2. CONTRIBUCIONES DE LA PROPUESTA.

2.1 Contribución académica.

La intención de este trabajo es la de plasmar los conocimientos adquiridos en el Master de Energías y al mismo tiempo, mostrar algunos conocimientos sobre la posibilidad de ahorrar energéticos y recuperar energía de los desperdicios orgánicos que genera la industria hotelera, esto creará un conocimiento más amplio de cómo ahorrar energía en hoteles. Además de ser un inicio a futuros estudios para ahondar más en el tema o especializar alguno de los puntos tocados en este.

2.2 Contribución económica.

Los resultados obtenidos en este trabajo, serán de gran ayuda para el personal encargado de mantenimiento, al justificar la inversión con los ahorros y beneficios obtenidos de la implementación de programas de ahorro y recuperación energética, pudiendo hacerse extensivo a los demás hoteles miembros del grupo administrador o de la asociación civil a la que pertenezcan, tanto en la Isla de Cozumel, en la Riviera Maya, como en cualquier parte del mundo.

2.3 Contribución social.

También, podrá ser una herramienta para futuras líneas de investigación en la aplicación de equipos de cogeneración, codigestión y gestión automática de la energía, con vistas a un aprovechamiento energético sustentable y una disminución de la emisión de los gases de efecto invernadero (GEI).

3. Antecedentes.

Todo hotel, en la Isla de Cozumel, o en la Riviera Maya, ya sea pequeño, mediano o grande (multinacional) provee servicios y siempre se encuentra en la búsqueda de beneficios o ganancias (diferencia entre los gastos de la empresa y sus ingresos). Estos beneficios, serán la compensación que obtienen los propietarios por arriesgar su capital y dedicarles su tiempo, son estos beneficios los que diferencian a una empresa de otro tipo de organización, tal como, una escuela pública u hospital público [2].

Según Aurelio Abancens y José María Lasheras [3], la empresa industrial es una unidad orgánica y funcional, integrada por: a) *medios materiales*, como capital, equipos, inmuebles, etc. b) *medios personales*, como el director, el gerente, obreros, administradores, etc. ambos unidos por una *relación jurídica*, para la obtención, al menor costo posible, por medio de una tecnología adecuada y dentro de la calidad fijada, de productos para satisfacer las necesidades del mercado, consiguiendo con ello el mayor beneficio posible y creando satisfacciones humanas a todos los que intervienen en el proceso productivo y que se relacionan con ella.

Como empresa industrial, esta requerirá de una serie de consumos energéticos para poder realizar sus actividades diarias dentro de todas las áreas que la componen. Si se considera que la productividad de una empresa es la relación que hay entre la producción obtenida y la cuantía del elemento necesario para obtenerla [3], entonces se sabe que a menor denominador, mayor será el resultado o mayor será la productividad.

De aquí la importancia de obtener un aumento en la productividad para permitir mejorar la retribución a trabajadores, propietarios o destinar este aumento de beneficios a reservas, aumentando su patrimonio y, en consecuencia, sus disponibilidades vía autofinanciación por la mayor generación de recursos, cash flow [4].

En el capítulo 5, llevaremos a cabo la caracterización de la demanda, tanto eléctrica como térmica, del caso que estudiaremos de manera general, sin atribuir los datos específicamente a un hotel en particular, pero sí considerando una categoría de al menos 4 estrellas y con reportes estadísticos entregados y publicados por Secretaría de Turismo de México de los hoteles de estas zonas (Zona norte del estado de Quintana Roo).

Una vez obtenidas estas demandas, en el capítulo 6, calcularemos el tamaño del equipo de cogeneración necesario para satisfacer las demandas energéticas eléctricas y térmicas del hotel, para iniciar entonces la implementación del programa de separación desde origen y recolección de desechos orgánicos dentro del hotel, ejecutado por los empleados del hotel para liberar a los huéspedes de la preocupación de realizar esta actividad en su tiempo de estancia, llevarlos a un biodigestor, y así, por medio de un proceso anaerobio generar el biogás, el cual, será combustionado en el equipo de cogeneración, aprovechando el calor de la combustión para el calentamiento de aguas sanitarias y el vapor generado, sin olvidar la generación de energía eléctrica para satisfacer las necesidades mismas del proceso y de la operación del hotel, con la oportunidad de exportar a la red eléctrica pública los excedentes (si los hubiera) de energía,

controlándolos y gestionándolos por un sistema inteligente o SMART GRID (Red Inteligente de integración de la energía), y así, obtener beneficios por la venta de esta energía.

Así mismo, los residuos obtenidos en el biodigestor (digestatos), serán tratados aeróbicamente para obtener un compost, el cual será utilizado en las áreas verdes (jardines) del hotel.

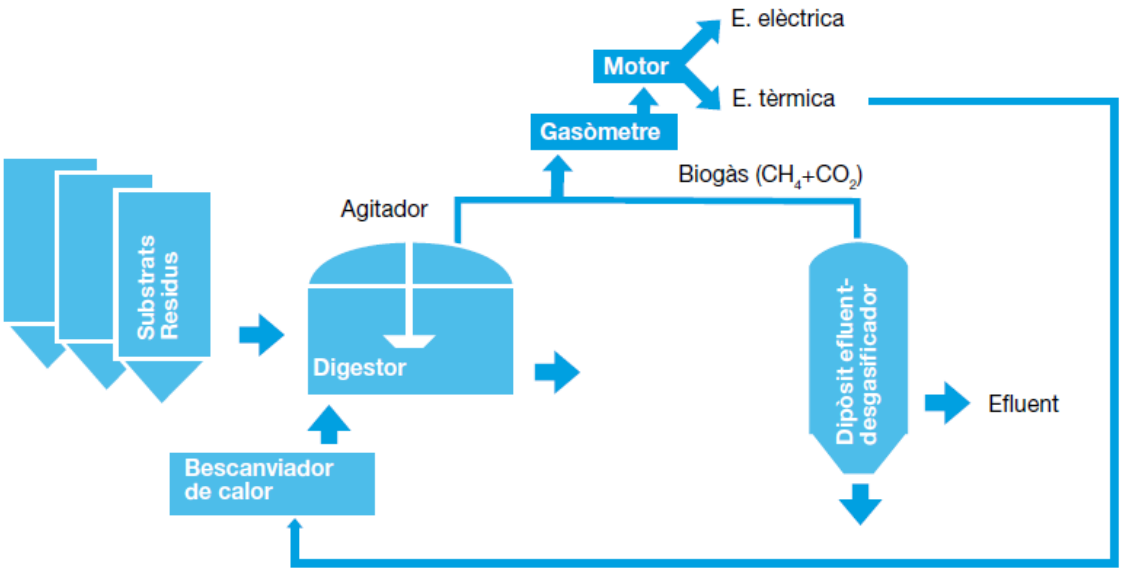
En el capítulo 7, se realizara el balance de energía y de ahorros energéticos, para que, inmediatamente después, en el capítulo 8, podamos obtener el balance económico y determinar la cantidad de bonos de carbono que puedan ser colocados en el mercado internacional. Continuando en el capítulo 9, con un análisis DAFO (Debilidades Amenazas Fortalezas Oportunidades) del ejercicio completo, el cual, nos dará un cuadro de visión de que tan benéfico y susceptible a ser desarrollado es este ejercicio.

Por último, se presentaran las conclusiones a las que este ejercicio ha llegado (capitulo 10).

4. Planteamiento del caso a estudiar.

Como se ilustra en la figura 1-1, el esquema básico de la producción de energía y gestión de la misma se presenta como una solución para disminuir el costo de operación del hotel, además de ser una oportunidad de obtener un beneficio adicional si se contabiliza la cantidad de dióxido de carbono (CO_2) y gases de efecto invernadero (GEI) que se dejan de emitir en el proceso de recuperación de energía y cogeneración, y así, poder tramitar ante el Banco Mundial, la bonificación económica por la disminución en la emisión de estos gases, tal y como lo indican Todd M. Johnson, Claudio Alatorre, Zayra Romo y Feng Liu [5], en donde los proyectos "ganar-ganar" de bajas emisiones (intervenciones que tienen tasas de retorno económicas positivas) pueden contribuir significativamente al desarrollo económico de la empresa.

Figura 1-1. Esquema de una instalación típica de digestión anaeróbica con aprovechamiento del biogás y motor de cogeneración, generando electricidad y calor.



Fuente: Xavier Flotats y Laia Sarquella, 2008 p. 19 [16].

Como se requiere disminuir los consumos energéticos y los costos económicos relacionados con estos, el recuperar la mayor cantidad de energía posible, el aumentar de alguna manera los beneficios para el hotel y su entorno, y por último, pero no menos importante, el cuidar y proteger el medio ambiente, mostrando una cara verde y amigable para el visitante y usuario de los servicios que proporciona el hotel, será prioritario este proyecto de ahorro energético y de cogeneración.

Hotel Verde o sostenible es, para el International Tourism Partnership [37]:

"El término "verde", utilizado en un contexto de negocios, originalmente se refería a temas ambientales. Sin embargo, el término ha evolucionado y ahora encierra todos los aspectos de sostenibilidad y responsabilidad social corporativa. Para que a una empresa se le denomine

"verde", esta debe incorporar el asunto de la sostenibilidad en su toma de decisiones en todos los niveles de la organización."

Para lograrlo, las empresas hoteleras deberán seguir solo 6 sencillos pasos en su organización [37], los cuales son:

1. Políticas y marco de trabajo.
2. Entrenamiento y sensibilización del personal.
3. Gestión ambiental.
4. Compras.
5. Gente y comunidades.
6. Protección del lugar de destino.

Es evidente que la demanda de energía mundial ha aumentado conforme ha ido aumentando la población mundial (gráfica 1-2, ver anexos), esto debido a la necesidad de tener una tecnología y riqueza más accesible a las personas (gráfica 1-3, ver anexos), por lo que todo lo que se pueda disminuir en los consumos energéticos y en la emisión de GEI y CO2, será benéfico para México, el mundo y las generaciones venideras.

La reducción en el consumo de energéticos y la reducción de emisiones contaminantes al medio ambiente cobra mayor importancia si vemos en perspectiva los efectos negativos que se han ido mostrando desde que se iniciara la carrera tecnológica posterior a la primera y segunda guerra mundial, que es cuando se inicia el consumo del petróleo como combustible primario y se deja de usar el carbón por su baja eficiencia y bajo poder calorífico en comparación con el petróleo, tal y como la gráfica 1-4 indica (ver anexos) [8].

Podemos notar (gráfica 1-5, ver anexos) como el CO2 no ha dejado de aumentar año con año desde que se iniciaron los registros puntuales de este gas y como desde las guerras mundiales ha ido creciendo exponencialmente su emisión [8].

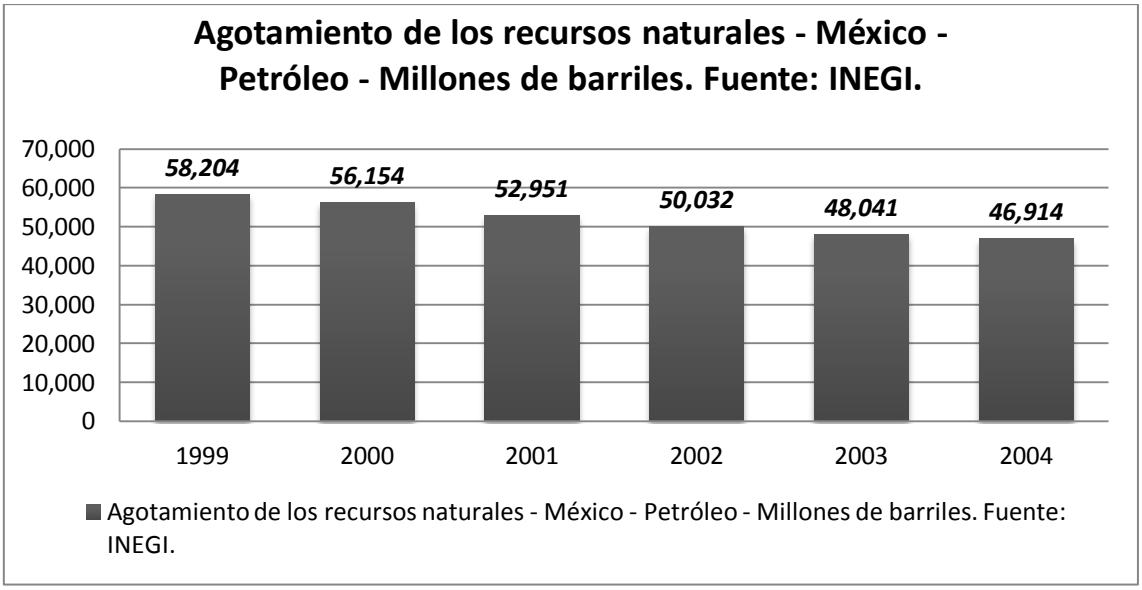
Así mismo, si analizamos los consumos de petróleo en el mundo, veremos que la tendencia es la misma: aumento en el consumo de este energético, aumentando así las emisiones contaminantes al medio ambiente (gráfica 1-5 y gráfica 1-6, ver anexos), si a esto aumentamos la perspectiva de las reservas de petróleo mundiales hasta ahora confirmadas, notaremos que estamos en un punto en el que la producción caerá y su obtención y refinación serán cada año más difíciles y costosas de obtener (gráficas 1-7 y 1-8, ver anexos), para lo cual se requieren esfuerzos conjuntos entre los gobiernos, ciudadanos y empresas para hacer frente al reto de no contaminar, pero al mismo tiempo, mantener el crecimiento energético y convertir este crecimiento en sustentable para el bienestar de todos.

En la Unión Europea, por ejemplo, la generación de electricidad y de calor por medio de la cogeneración, es la principal forma de recuperación de biogás. Del 2010 al 2011, la producción de electricidad en esta región, a partir del biogás, fue del 18,4%, aproximadamente 35,9 TWh, mientras que el calor generado y vendido a empresas o inyectado a redes de calefacción aumentaron un 52,2%. Mucho del calor generado se ha utilizado en sitio, para el secado de la biomasa, calefacción de los edificios y el mantenimiento de la temperatura adecuada para los biodigestores. La Unión Europea plantea tener una alternativa más para este

biogás: el biometano, que es el biogás purificado e inyectarlo directamente a las redes de distribución de gas natural en la región [11], pero esta iniciativa no se tomara en cuenta en este trabajo debido a que, en México y específicamente en la región de Quintana Roo, no existe este tipo de infraestructura (red de distribución de gas).

En México, la situación actual del petróleo no es muy diferente a la del mundo, por decir algo, las reservas de petróleo probadas se han ido disminuyendo (gráfica 1-9), a diferencia de las de la producción de crudo, en donde se ha mantenido en los últimos años una producción constante, después de un pico de producción y una disminución de esta (gráfica 1-10, ver anexos).

Gráfica 1-9. Agotamiento de las reservas de petróleo crudo en México.



Fuente: elaboración propia con datos del INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). Sistema de cuentas económicas y ecológicas. Abril 2013 [12].

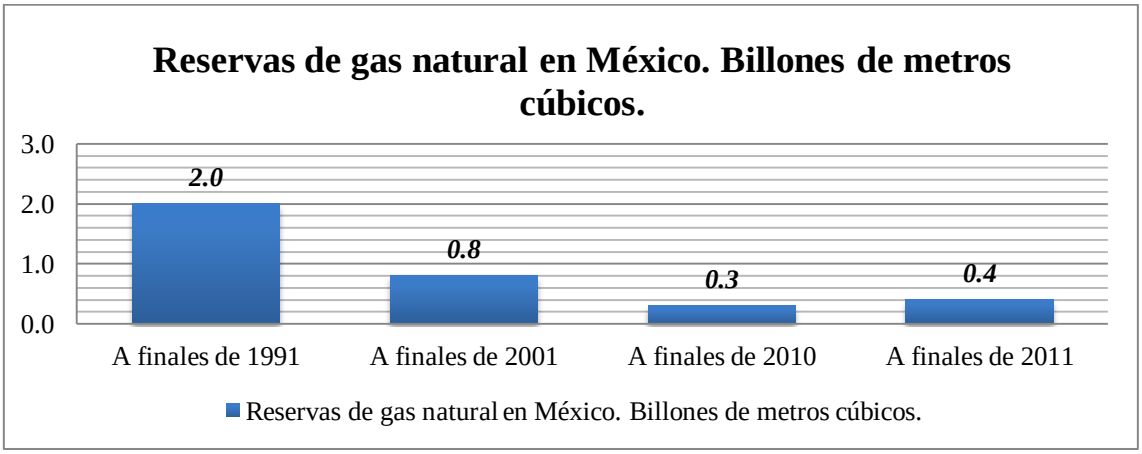
Mientras que las reservas probadas en México del petróleo se han mostrado registradas a la baja según pasa el tiempo (gráfica 1-11, ver anexos).

Estos datos difieren en cantidad las reservas probadas (gráfica 1-12, ver anexos) indicadas por la empresa BP (British Petroleum), pero de igual manera, se muestran a la baja y en niveles ya preocupantes, ya que la relación entre las reservas y la producción (gráfica 1-13, ver anexos) de crudo, relacionadas con el consumo (gráfica 1-14, ver anexos) también indicadas en el reporte de la BP, resultan en un tiempo no mayor a 10,6 años de vida de estas reservas.

En el campo del gas natural la situación en las reservas es exactamente igual que con la del petróleo, basta con mirar la gráfica 1-15 en la que se indican las reservas probadas del país, la producción de gas natural (gráfica 1-16, ver anexos) muestra una curva inversa a la del petróleo, ya que la producción cae en el petróleo y aumenta en el gas natural y el consumo también en ambas aumenta (gráfica 1-17, ver anexos).

En resumidas cuentas, en diferencia con lo producido, consumido, importado y exportado, estamos importando desde los Estados Unidos de América, aproximadamente 18 miles de millones de metros cúbicos de gas natural (datos del año 2011) y según los cálculos de BP [13], a partir de ese año, quedan reservas para 6,7 años más, de seguir la relación: reservas/producción.

Gráfica 1-15. Reservas probadas de gas natural en México, según reporte de la BP.



Fuente: elaboración propia con datos de BP. Junio 2012 [13].

De todo lo anterior se desprende la necesidad prioritaria de reducir emisiones de GEI, disminuir los consumos energéticos primarios y al mismo tiempo aumentar los beneficios obtenidos de la actividad del hotel.

Tomando en cuenta lo presentado en "La Quinta Comunicación Nacional de México ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC)" la utilización del Gas LP será básico para poder lograr los objetivos de reducción de estos gases GEI para 2020 y 2050 que deberán de ser del 30% y del 50% respectivamente con respecto a la línea base contable del año 2000, además de aportar una parte de la meta de penetración de energías renovables del 35% de la capacidad instalada nacional para el 2024 [20] con la generación de biogás en el hotel y siendo sustituto de un combustible fósil mucho más contaminante como es el combustóleo o fuel oil utilizado actualmente en mayoría para generar la energía eléctrica utilizada por el hotel, debido a la zona en la cual esta insertado (Península de Yucatan: Yucatan, Campeche y Quintana Roo) (figura 1-2 y tabla 1-1, ver anexos).

Si esta propuesta de ahorro energético y cogeneración se lleva a cabo a gran escala en las regiones más alejadas y desconectadas de la red eléctrica de Cozumel y la Riviera Maya, podría ser utilizado un sistema de gestión y control de la energía eléctrica generada con estos centros de cogeneración y regularla mediante sistemas inteligentes tal como si fuera una "Smart Grid" o una red inteligente, la cual utiliza los dispositivos adecuados y tecnológicamente avanzados para distribuir y controlar de manera eficiente la energía, desde el productor hasta el

consumidor, en este caso, para mantener interconectados y distribuidos los excedentes de la energía generada desde los centros de cogeneración hacia la red interconectada, mediante una red alámbrica o inalámbrica inteligente, la cual se adaptará a los cambios evolutivos de la tecnología y de la forma de llevar la información de un sitio a otro, utilizando lenguajes de comunicación variados, avanzados y efectivos.

La conjunción de las tecnologías y la comunicación entre ambos puede llevarse a cabo mediante los sistemas de comunicación más avanzados y utilizados actualmente, todas estas incluyen especificaciones del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos o Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE, por sus siglas en inglés) tales como: IEEE 802.15.4 ZigBee, IEEE-802.16 WiMAX and IEEE 802.11 Wireless LAN (Wi-Fi) technologies, GSM 3G/4G Cellular, DASH 7 and PLC (Power Line Communications) [22].

5. Caracterización de la demanda de un hotel.

5.1 Caracterización del entorno.

La isla de Cozumel y la Riviera Maya, en México, son dos regiones que comparten muchos aspectos, medio ambiente, temperatura ambiente, humedad, entorno social y económico, una misma administración estatal (Quintana Roo) y también la afectación por eventos naturales de temporada, tales como vientos fuertes del norte en invierno y tormentas tropicales y huracanes desde mayo a noviembre de cada año, ya que está región está ubicada frente al mar Caribe, en el lado occidental de esta zona caribeña, Fig. 5-1 (ver anexos).

Por lo tanto, si hablamos de un área, prácticamente estaremos hablando de ambas, lo que puede ser aplicable a una, será aplicable a la otra, como los datos a presentar están recolectados en la isla de Cozumel, haremos referencia a esta en mayor medida y será base para los cálculos a realizar y los resultados serán considerados como parte de la región.

Las características generales, desde el punto de vista económica y de desarrollo son tal y como se indican el Programa Estatal para la Prevención y Gestión Integral de Residuos del Estado de Quintana Roo, México. 2009-2013 [19]: *"El Estado Quintana Roo, se distingue por sus tres zonas, la zona norte, la zona maya, así llamada por que aquí se concentra la mayor parte de de los habitantes de esa etnia y la zona sur, en la que se localiza la capital del Estado, Chetumal. Además de la geografía de Quintana Roo que lo posiciona como una de las fronteras de nuestro país; la naturaleza dotó al Estado de grandes maravillas, por lo que en la actualidad es uno de los destinos turísticos más importantes del país, con inmensos recursos naturales y uno de los estados más extensos del Sureste de la República Mexicana, estas características originan un crecimiento económico y poblacional. Este crecimiento experimenta en las zonas urbanas del Estado, una fuerte inmigración que busca oportunidades de trabajo y nuevas formas de vida, lo que conlleva un incremento en la generación y composición de los residuos sólidos urbanos (RSU) y de los residuos manejo especial (RME), ocasionando una mayor demanda para los Servicios de Aseo Urbano (SAU) en los municipios y con ello requerimientos de recursos humanos, materiales y financieros para hacerle frente. La situación anterior plantea el gran desafío de cómo conjugar el desarrollo económico con la preservación del medio ambiente. La respuesta a nivel global ha sido el desarrollo sostenible, cuyo postulado central se basa en el equilibrio entre crecimiento económico, equidad social y conservación de recursos. El Estado de Quintana Roo ha presentado y presenta problemas de degradación ambiental como la escasa cobertura de los servicios de agua potable y drenaje sanitario, la extracción y contaminación de las aguas subterráneas, y la insuficiencia o inexistencia de sitios adecuados para la disposición de los residuos en los centros urbanos, lo que puede poner en riesgo al frágil ecosistema que lo caracteriza."*

Los datos característicos de la zona norte del estado, en donde se encuentran, tanto Cozumel como la Riviera Maya, y que serán tomados como base en la característica de la demanda energética y de generación de residuos son:

- Localización.
  La isla de Cozumel y la Riviera Maya (Municipios de: Solidaridad, Tulúm y Benito Juárez) se localizan en la parte norte del estado de Quintana Roo, México.

- Orografía.
  La altura máxima sobre el nivel del mar es de 80m, con una pendiente de oeste a este del 0,01% [19]. El Estado se encuentra en la Provincia fisiográfica XI Península de Yucatán que se divide en tres subprovincias, una de ellas es la subprovincia 64 Costa Baja de Quintana Roo que se define como una llanura inundable con piso cementado y salino, que es en donde están enclavadas las áreas de este estudio [19].

- Hidrografía.
  Debido a la conformación geológica y topográfica la circulación de las corrientes de agua son subterráneas. Al filtrarse el agua de lluvia provoca que las rocas calizas del subsuelo se disuelvan provocando hundimientos que dejan al descubierto depósitos subterráneos de agua conocidos como cenotes o dolinas [19].

- Clima.
  De acuerdo al sistema de clasificación de Koeppen modificado para climas tropicales y subtropicales de México, en el Estado se identifican los climas cálido subhúmedo con lluvias en verano A (w) en la parte continental y el clima cálido húmedo con abundantes lluvias en verano A (m) en Cozumel. La precipitación pluvial anual varía de 1100 a 1500 milímetros como promedio anual. La temperatura media anual fluctúa entre 26°C como máxima y 10°C como mínima, con extremos de 36°C en los meses más calurosos. La evaporación media anual varía entre los 1100 mm y los 1400 mm., llegando en ocasiones a superar la precipitación. Los vientos dominantes son los alisios que se presentan casi todo el año con dirección de este al oeste o suroeste. En el invierno se presentan vientos del norte con lluvias moderadas y baja temperatura. De septiembre a noviembre es la temporada de ciclones que eventualmente llegan a las costas [19].

5.2 Caracterización de los residuos.

Generación de residuos.

En el Estado de Quintana Roo, la información consultada, para las áreas de interés de este trabajo, fue corroborada por los responsables que tienen a su mando el manejo de los RSU en dichos municipios. Esta información, proviene de fuentes diversas como la Agencia de Cooperación Internacional Japonesa (JICA), tesis de licenciatura de la Universidad de Quintana Roo (U.QROO), Secretaría de Desarrollo Urbano y medio Ambiente (SEDUMA), así como de la empresa paraestatal de Cozumel: Ecología de Cozumel (ECOZ) [19].

Tabla 5-1. Generación de residuos por Municipio y alcaldías de las áreas consideradas en este trabajo.

Municipio	Alcaldías y cabecera municipal	Generación per cápita (kg/hab/día)	Generación (ton/día)	Generación. (ton/año)	% Masa	Fuente de información.
Cozumel	Cabecera municipal.	1,28	115	40 150	7,0	ECOZ
Benito Juárez	Cancún	1,6	750	262 800	46	SEDUMA
Solidaridad	Tulúm	0,9	51	14 253	2,9	Alcaldía

Fuente: Programa Estatal para la Prevención y Gestión Integral de Residuos del Estado de Quintana Roo, México. 2009-2013. Gobierno de Quintana Roo. Secretaría de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente (SEDUMA), cuadro 5 p. 29, adaptado [19].

La conformación de estos residuos los indicamos en la tabla 5-2 (Ver anexos).

Para este trabajo, tomaremos los datos que se indican para Cozumel, ya que se tratan de datos certificados para la parte norte del estado de Quintana Roo, que es donde se presenta la mayor afluencia de turismo y es la de más alto poder adquisitivo [19].

5.3 Caracterización de los servicios e instalaciones.

Características de los servicios del hotel tipo.

El hotel tipo que presentamos como base para nuestro trabajo, consta de:

1. 42 bungalós con 8 habitaciones cada uno de aproximadamente 42 m^2 (336 habitaciones), para 2 personas cada una, cuatro habitaciones en la planta alta y cuatro más en la planta baja.
2. Áreas varias para oficinas, concesionarios, servicios propios, áreas comunes, áreas verdes, piscinas, restaurantes, bares, área de playa y estacionamiento, así como, dos canchas de tenis, todo resumido en:
    a. Área construida 22 397 m^2, de los cuales 7 098 m^2 son para las habitaciones en planta baja y 7 098 m^2 son para las de planta alta.
    b. Áreas de piscinas y caminos 17 063 m^2.
    c. Áreas verdes 23 507 m^2.
    d. Área total del predio 58 570 m^2.

5.4 Caracterización de la energía eléctrica.

1. Potencia eléctrica para las áreas construidas de 115,1 W/m2. Este dato se ha obtenido mediante información de varios hoteles de la zona de la misma categoría.

2. Potencia eléctrica para las áreas verdes, exteriores, caminos y andadores de 5,94 W/m2, dato obtenido de la NOM-001-SEDE-2012, Norma Oficial Mexicana, relativa a las instalaciones eléctricas (utilización), en su tabla 220-42.

3. Potencia específica eléctrica para los aires acondicionados de 64,1 W/m2, de las zonas que requieran este acondicionamiento de aire. Este dato se obtuvo de los equipos instalados en hoteles de igual categoría de la zona.

4. Demanda de energía eléctrica horaria de tarifas:

Tabla 5-3. Demandas eléctricas horarias por tarifas.

Demanda de energía eléctrica horaria por tarifas				
Código de área	Base	Intermedia	Punta	Intermedia
	0-6 Hrs	6-18 Hrs	18-22 Hrs	22-24 Hrs
A) Caminos y andadores	100%	0%	100%	100%
B) Servicios con aire acondicionado	20%	100%	50%	20%
B) Servicios sin aire acondicionado	50%	100%	100%	50%
C) Cancha de tenis	0%	0%	100%	0%
D) Bungalós c/4 habitaciones P.B.	70%	50%	100%	50%
E) Bungalós c/4 habitaciones P.A.	70%	50%	100%	50%
F) Áreas verdes	50%	0%	100%	50%

Fuente: elaboración propia, elaborada con los datos indicados en los puntos anteriores.

5. Potencia máxima de energía eléctrica horaria en tarifas:

Tabla 5-4. Potencias eléctricas máximas horarias por tarifas, considerando 4 escenarios típicos semanales en el año tipo.

Escenarios	Potencia máxima por tarifa horaria (kW)		
	Base	Intermedia	Punta
Semana con ocupación al 100%	1 567	1 761	2 469
Semana máxima registrada	1 415	1 653	2 252
Semana promedio	992	1 190	1 590
Semana mínima registrada	745	1 013	1 236

Fuente: elaboración propia, elaborada con los datos indicados en los puntos anteriores.

5.5 Caracterización del consumo de agua fría (AF) y agua caliente sanitaria (ACS).

1. Demanda de agua potable y generación de lodos residuales. Esta demanda se obtendrá en base a los 380 lts por persona por día que una persona consumen un hotel de alta categoría y con los servicios indicados anteriormente. Estos datos fueron obtenidos por lo indicado en la tabla 2.12 de la página 36, del libro Tratamiento y depuración de aguas residuales, por METCALF Y EDDY [26].

2. Demanda de agua caliente sanitaria. Esta demanda se calculará usando los datos base de consumos de agua caliente sanitaria indicados en la "tabla 03: Consumos diarios de ACS a 60 °C (HE4)" de la Guía técnica de agua caliente sanitaria central, redactada por la Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR) para el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDEA), España [28], los cuales son:
    a. 70 lt/día-huésped a 45°C (en los puntos de consumo) por cama.
    b. 5 a 10 lt/día-huésped a 45°C (en los puntos de consumo) por comida en restaurante, considerando el más crítico.
    c. 5 lt/kg-huésped a 45°C (en los puntos de consumo) por kg de ropa a lavar en lavandería, se considerarán 5 kg por huésped (ropa de cama).

Es muy importante señalar que existe una bacteria, la *Legionella Pneumophila*, la cual, encuentra su hábitat natural en el agua, ríos, lagos, fuentes, estanques y se desarrolla fácilmente en ambientes hídricos sin turbulencias, en temperaturas que van desde los 20°C a los 45°C y que tengan suciedad (nutrientes), por lo que el almacenamiento del agua en el sistema de ACS tiene un gran potencial para su desarrollo, así que deberán tener en cuenta algunas recomendaciones para evitar su aparición en el ACS y en el agua fría (AF), señaladas en la Guía técnica de agua caliente sanitaria central, redactada por la Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR) para el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDEA), España [28], las cuales son, entre otras:

1. Garantizar la estanqueidad de las instalaciones, evitando los estancamientos y previendo los suficientes puntos de purga que permitan vaciar totalmente las instalaciones.
2. En el aporte de agua al sistema se dispondrán filtros según la norma UNE-EN 13.443-1, para partículas comprendidas entre 80 y 150 µm.
3. El agua de los acumuladores de ACS anteriores al consumo tendrá una temperatura homogénea, se evitara su enfriamiento en zonas interiores.
4. La instalación permitirá que el agua alcance una temperatura de 70 °C.

5.6 Caracterización de la ocupación y número de huéspedes y usuarios.

Cantidad de huéspedes y usuarios de los servicios del hotel tipo.

La ocupación hotelera se reporta a las diferentes asociaciones de hoteles en cada municipio, por lo que el hotel tipo del que tratamos en este trabajo, reporta a la Asociación de hoteles de la isla de Cozumel, A.C. la ocupación semanal en un año, los cuartos disponibles, la capacidad de cada cuarto, los días de estadía por estancia y las personas por estancia que han sido contratados en cada hotel. Estos reportes son enviados a la secretaria de turismo por medio del Sistema Nacional de Información Estadística del Sector Turismo de México-DATATUR, con base en información generada a través del programa de monitoreo de la ocupación en servicios turísticos de hospedaje [29].

Para este trabajo se han tomado los datos estadísticos presentados por el Sistema Nacional de Información Estadística del Sector Turismo de México-DATATUR desde 2004 a la semana 20 de este año 2013, por lo que los datos se presentan en las gráficas 5-1 y 5-2, ubicadas en los anexos.

A estos datos de cantidades de huéspedes semanales, se le agregarán 50 trabajadores por turno en promedio y con la existencia de 3 turnos, el total promediado es de 150 trabajadores diarios, los cuales, utilizan los servicios propios del hotel.

6. Solución propuesta.

En un hotel, la necesidad de energía térmica y eléctrica es básica, se deberán de cubrir estas necesidades sea cual fuere los costos asociados a ello, por lo que un sistema de cogeneración eficiente, es una buena opción para: a) autoabastecerse eléctrica y térmicamente; b) reducir el consumo de combustibles fósiles en estas energías consumidas; c) disminuir emisiones contaminantes a la atmosfera, y; d) recuperar energía mediante la biometanización de los residuos orgánicos que obligatoriamente genera un hotel.

Por lo cual, nuestra propuesta es la de implementar un sistema de cogeneración eficiente, el cual, en este capítulo desarrollaremos.

6.1 Cogeneración.

¿Qué es la cogeneración y la cogeneración eficiente?

Tomaremos lo que se indica en la Guía práctica de trámites y permisos para proyectos de cogeneración de energía eléctrica en México. 2012 [30]:

*"**Cogeneración:** De acuerdo con lo dispuesto en el Artículo 36, Fracción II, de la LSPEE y en términos del Artículo 103 del Reglamento de la LSPEE, se entiende por cogeneración:*
I. La producción de energía eléctrica conjuntamente con vapor u otro tipo de energía térmica secundaria, o ambas; II. La producción directa o indirecta de energía eléctrica, a partir de energía térmica no provechada en los procesos de que se trate, ó III. La producción directa o indirecta de energía eléctrica, utilizando combustibles producidos en los procesos de que se trate.

***Cogeneración eficiente:** Con base en el Artículo 2, Fracción II, del Reglamento de la LAERFTE se establece que la cogeneración eficiente es la generación de energía eléctrica, conforme a lo establecido en el Artículo 36, Fracción II, de la LSPEE, siempre que el proceso tenga una eficiencia superior a la mínima que para tal efecto establezca la CRE, de acuerdo con lo establecido en el Apartado 5.1 de esta Guía práctica."* [30].

Tabla 6.1-1. Eficiencias mínimas para sistemas de cogeneración eficiente establecida por la CRE (Comisión Reguladora de Energía).

Capacidad del sistema	Eficiencia mínima (%)
Capacidad > 0,3 ≤ 0,5 MW	5
Capacidad ≥ 0,5 ≤ 30 MW	10
Capacidad ≥ 30 ≤ 100 MW	15
Capacidad ≥ 100 MW	20

Fuente: Guía práctica de trámites y permisos para proyectos de cogeneración de energía eléctrica en México. 2012. Tabla 1, p. 12 [30] adaptado.

La cogeneración es hoy, una alternativa como método de conservación de energía para la industria, acorde con las políticas de globalización económica regional y a la política internacional orientada a lograr un desarrollo sustentable [14].

Si consideramos que, según el artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, *"…Corresponde exclusivamente a la Nación generar, conducir, transformar, distribuir y abastecer energía eléctrica que tenga por objeto la prestación de servicio público. En esta materia no se otorgarán concesiones a los particulares y la Nación aprovechará los bienes y recursos naturales que se requieran para dichos fines…".*

Y, según la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica, (LSPEE), *"ARTICULO 3o.- No se considera servicio público:*

I.- La generación de energía eléctrica para autoabastecimiento, cogeneración o pequeña producción;"

Y, *"ARTICULO 39.- Salvo lo dispuesto en el inciso c) de la fracción IV del artículo 36, no se requerirá de permiso para el autoabastecimiento de energía eléctrica que no exceda de 0.5 MW."* De esta misma LSPEE.

Y, aun cuando no se requiere permiso de autoabastecimiento para potencias que no excedan lo indicado en el Art. 39 de la LSPEE, si se requiere contrato del servicio de energía eléctrica con la Comisión Federal de Electricidad (CFE), tal y como lo indica la figura 3 de la Guía práctica de trámites y permisos para proyectos de cogeneración de energía eléctrica en México. 2012 [30]:

Tabla 6.1-2. Figura 3, de la Guía práctica de trámites y permisos para proyectos de cogeneración de energía eléctrica en México, Resumen de trámites.

Modalidad	Capacidad (kW)	Permiso (CRE)	Interconexión (CFE)
Generadores	10 > kW ≤ 30 (pequeña escala)	No requiere permiso de cogeneración	Requiere contrato de interconexión
	30 > kW ≤ 500 (mediana escala)	No requiere permiso de cogeneración	Requiere contrato de interconexión

Fuente: Guía práctica de trámites y permisos para proyectos de cogeneración de energía eléctrica en México. 2012, figura 3, p. 16 [30] adaptado.

Por lo cual, y basándonos en la tabla 5-3 indicada anteriormente, consideraremos que nuestra demanda superará los 500kW, que requeriremos el contrato de interconexión con la C.F.E., pero, autoabasteceremos parte de nuestra carga con el equipo de cogeneración, sin que sobrepase este, los 500kW de generación eléctrica permitida por las leyes y regulaciones expuestas en este mismo capítulo, nuestra modalidad será la de "Generadores de mediana escala".

Otras leyes que refuerzan la importancia del ahorro energético, el uso de las energías renovables y la aplicación de la cogeneración y la cogeneración eficiente, pero que no analizaremos aquí, son:

A) Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (LASE) y su reglamento.

B) Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (LAERFTE) y su reglamento.

C) Ley General de Cambio Climático (LGCC) y su reglamento.

Cálculos de las demandas eléctricas y térmicas del hotel.

Demanda eléctrica.

Considerando los datos indicados en el capítulo 5, las demandas eléctricas del hotel las dividiremos en: a) totales y; b) aires acondicionados; ambas serán analizadas en cuatro escenarios, considerando: 1) Semana al 100% de ocupación del hotel; 2) Semana con una ocupación máxima registrada en los datos estadísticos; 3) Semana con datos promedio, y; 4) Semana con los datos mínimos registrados en los datos estadísticos.

La intención de incluir la demanda de los chillers de los aires acondicionados, es para poder determinar si existe la posibilidad de incluir uno de estos equipos dentro de la capacidad de generación eléctrica del equipo de cogeneración, o determinar la potencia eléctrica y la potencia especifica del sistema eléctrico sin considerar la de estos aires acondicionados.

Es importante hacer notar que estos cálculos se han realizado para las 53 o 52 semanas en el año (según aplique) desde el año 2004 a la semana 20 del 2013, que es cuando se tomaron los datos base, obtenidos de la Secretaría de Turismo por medio del Sistema Nacional de Información Estadística del Sector Turismo de México-DATATUR, con base en información generada a través del programa de monitoreo de la ocupación en servicios turísticos de hospedaje [29].

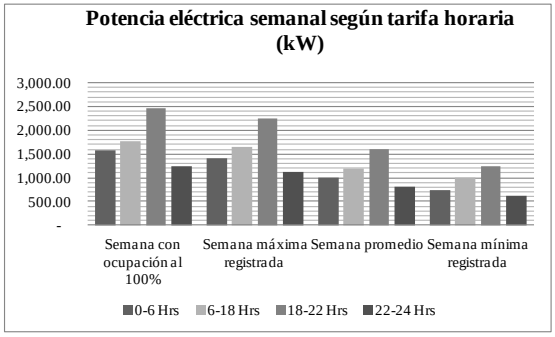
Bajo estos escenarios, con las características de las demandas indicadas en el capítulo 5 y los horarios de éstas, mostrados en la tabla 5-3, obtenemos que, para la demanda total del hotel, tenemos que:

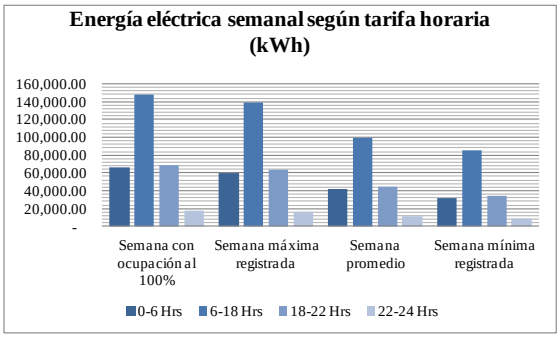
Tabla 6.1-3. Energía semanal (kWh) y potencias eléctricas máximas (kW), horarias por tarifas, considerando 4 escenarios típicos semanales en el año tipo, para la demanda total del hotel.

Escenarios	Energía semanal por tarifa horaria (kWh)				Potencia máxima por tarifa horaria (kW)		
	Base	Intermedia	Punta	Total kWh	Base	Intermedia	Punta
Semana con ocupación al 100%	65,819	44,522	111,153	221,494	1,567	1,761	2,469
Semana máxima registrada	59,449	63,055	154,665	277,169	1,415	1,653	2,252
Semana promedio	41,679	44,522	111,153	197,354	992	1,190	1,590
Semana mínima registrada	31,277	34,615	93,815	159,707	745	1,013	1,236

Fuente: elaboración propia, elaborada con los datos indicados en los puntos anteriores y en la tabla 5-3.

Grafica 6.1-1. Energía semanal (kWh) y potencias eléctricas máximas (kW), horarias por tarifas, considerando 4 escenarios típicos semanales en el año tipo, para la demanda total del hotel.





Fuente: elaboración propia, elaborada con los datos indicados en los puntos anteriores y en la tabla 5-3.

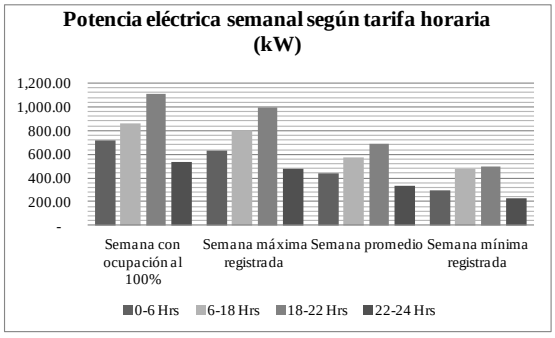
Para la demanda de la energía eléctrica de los aires acondicionados:

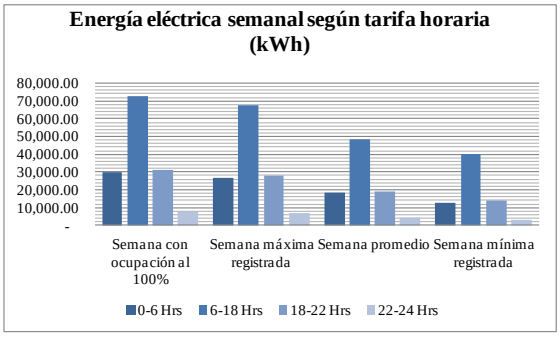
Tabla 6.1-4. Energía semanal (kWh) y potencias eléctricas máximas (kW), horarias por tarifas, considerando 4 escenarios típicos semanales en el año tipo, para la demanda de los aires acondicionados (incluidas en la demanda total del hotel).

Escenarios	Energía semanal por tarifa horaria (kWh)				Potencia máxima por tarifa horaria (kW)		
	Base	Intermedia	Punta	Total kWh	Base	Intermedia	Punta
Semana con ocupación al 100%	30,166	31,176	79,965	141,307	718	863	1,113
Semana máxima registrada	26,620	27,799	74,055	128,475	634	802	993
Semana promedio	18,347	19,308	52,844	90,499	437	574	690
Semana mínima registrada	12,556	13,793	43,193	69,543	299	476	493

Fuente: elaboración propia, elaborada con los datos indicados en los puntos anteriores y en la tabla 5-3.

Grafica 6.1-2. Energía semanal (kWh) y potencias eléctricas máximas (kW), horarias por tarifas, considerando 4 escenarios típicos semanales en el año tipo, para la demanda de los aires acondicionados (incluidas en la demanda total del hotel).





Fuente: elaboración propia, elaborada con los datos indicados en los puntos anteriores y en la tabla 5-3.

Los comportamiento de estas demandas en el año tipo obtenidos desde 2004 a 2013, se indican en las graficas 6.1-3 (ver anexos) para la demanda total del hotel (kW) y en la gráfica 6.1-4 (ver anexos) para los aires acondicionados (kW), para la energía promedio semanal en al

año tipo del hotel en la gráfica 6.1-5 (ver anexos), la energía promedio semanal en el año tipo para los aires acondicionados en la gráfica 6.1-6 (ver anexos), para la energía total del hotel (kW) en las tarifas horarias en la gráfica 6.1-7 (ver anexos), para la de los aires acondicionados en la gráfica 6.1-8 (ver anexos), y por último, para la potencia total del hotel en tarifas horarias en la gráfica 6.1-9 (ver anexos) y para la potencia de los aires acondicionados en la gráfica 6.1-10 (ver anexos).

La cantidad de energía y potencia se indican a continuación:

Tabla 6.1-5. Energía eléctrica anual y potencias eléctricas máximas y mínimas.

	Hotel (completo)	Equipos de aire acondicionado
Energía anual (MWh)	10 945	5 103
Potencia máxima en horario punta, de 18-22 hrs (kW)	2 469	1 113
Potencia mínima en horario base, de 0-6 hrs (kW)	745	299

Fuente: elaboración propia, elaborada con los datos indicados en los puntos anteriores y en la tabla 5-3.

Con estos datos podemos confirmar lo dicho en el inicio del capítulo 6, que se considerara suministrar el 100% de la demanda eléctrica a no más de 500 kW, esto por lo que ya referimos, y asegurándonos de que las demandas de los equipos de aires acondicionados pueden ser cubiertos con esta capacidad de cogeneración eléctrica, por lo que a continuación, desarrollaremos el cálculo de la demanda térmica para ver si es capaz nuestro sistema de cogeneración de suministrar el calor requerido por el hotel para los servicios de agua caliente sanitaria.

El diagrama unifilar de la carga eléctrica la mostramos en la figura 6.1-1 (ver anexos).

Demanda térmica.

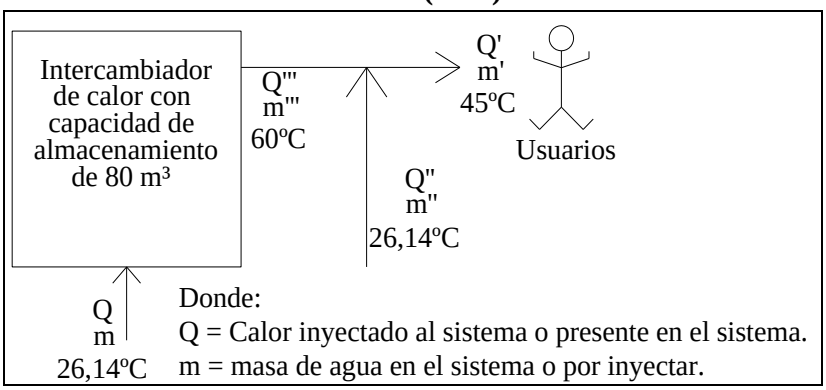
Para determinar la cantidad de energía térmica que se requerirá para satisfacer la demanda del hotel de esta energía, primero obtendremos, de las características indicadas en el capítulo 5, las cuales son: Demanda de agua caliente sanitaria. Esta demanda se calculará usando los datos base de consumos de agua caliente sanitaria indicados en la "tabla 03: Consumos diarios de ACS a 60 °C (HE4)" de la Guía técnica de agua caliente sanitaria central, redactada por la Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR) para el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDEA), España [28], los cuales son:

a. 70 lt/día-huésped a 60°C por cama a la salida del intercambiador.
b. 10 lt/día-huésped a 60°C por comida en restaurante.
c. 5 lt/kg-huésped a 60°C por kg de ropa a lavar en lavandería, se considerarán 25 kg por huésped (ropa y ropa de cama).
d. Temperatura del agua de alimentación de 26,1°C, según lo indicado por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) en su programa de Monitoreo de Aguas Subterráneas de la Caleta de Xel-Ha y sus

alrededores, Estado de Quintana Roo [31], que como comentamos con anterioridad, está en la misma área de Cozumel y la Riviera Maya.

Nos apoyaremos en la figura 6.1-2 siguiente, en donde se indica el proceso térmico que se lleva a cabo para calentar el agua caliente sanitaria del hotel de manera general.

Figura 6.1-2. Diagrama general de la inyección de calor al agua del sistema de agua caliente sanitaria (ACS) del hotel.



Fuente: elaboración propia, septiembre 2013.

De la figura 6.1-2 se desprende el balance de energía en calor necesario para llevar el agua en el intercambiador desde los 26,1ºC hasta los 60ºC a la salida de este, después, se mezclará antes de llegar a los puntos de salida para llegar con 45ºC y los usuarios deberán de combinar con el agua fría del sistema para poder aprovecharla como prefieran.

El Q’’’ = Q’ – Q’’ y sabiendo que Q = Q’’’ entonces como Q = m c ΔT tenemos:

$$m''' \, c \, \Delta T''' = (m' \, c \, \Delta T') - (m'' \, c \, \Delta T'')$$

Donde:

Q = Calor (kcal).

m = cantidad de agua (lts).

c = calor específico del agua (1 kcal/kg ºC)

ΔT = diferencia de temperaturas (ºC).

Nota: tomaremos como 1, la densidad del agua para simplificar datos.

ΔT’’’ = 60ºC-26,1ºC = 33,9ºC ; ΔT’’ = 26,1ºC-26,1ºC = 0ºC ; ΔT’ = 45ºC-26,1ºC = 18,9ºC ;

ΔT = 26,1ºC-26,1ºC = 0ºC entonces:

m’’’ c ΔT’’’ = m’ c ΔT’ y como c es la misma para ambos términos, podemos decir que:

$$m''' \, \Delta T''' = m' \, \Delta T'$$

m’’’ = 225 lts/día-persona (obtenido de los puntos a, b y c anteriores).

Por lo tanto tenemos que:

m’ = 404 lts/día-persona, y Q = 7 601 kcal/día-persona ó Q = 8,9 kWh_t /día-persona.

Por lo que utilizando los datos de la gráfica 5-2 (Cantidad promedio de huéspedes por semana en un año tipo promedio desde 2004 a la semana 20 de 2013) (ver anexos), en la que se incluyen los trabajadores de los 3 turnos existentes en el hotel, obtenemos la gráfica 6.1-11 (ver anexos), en donde se muestra el calor requerido para el sistema de agua caliente sanitaria (kcal/día) y la gráfica 6.1-12 (ver anexos), de la energía térmica requerida para calentar el sistema de agua caliente sanitaria (kWht/día). Como resumen se elaboró la tabla 6.1-6 siguiente:

Tabla 6.1-6. Resumen de cantidad de calor y energía diarios promedios requeridos para el sistema de ACS y la cantidad de agua en litros a 45ºC y 60ºC, se incluyen resultados anuales.

Escenario	Número medio de personas	Calor medio (Gcal)	Calor medio (MWht)	Potencia térmica máxima (kWt)	Potencia térmica mínima (kWt)	Litros agua (m^3) a 45ºC (m')	Litros agua a (m^3) 60ºC (m''')
Semana al 100%	822	6,3	7,3	523	53	332	185
Semana máxima	713	5,4	6,3	454	45	288	161
Semana promedio	485	3,7	4,3	309	31	196	109
Semana mínima	307	2,3	2,7	195	20	124	69
Datos anuales	25 692	195,3	227,2	N.A.	N.A.	10 378	5 781

N.A.= No Aplica
Fuente: elaboración propia, septiembre 2013.

Sabiendo la cantidad de agua requerida diaria a calentar a 60ºC en el intercambiador, que son 185 m^3/día al 100% de ocupación del hotel, y teniendo en cuenta las demandas horarias del sistema de ACS, el cual se indica en la gráfica 6.1-13 (ver anexos) podemos calcular los caudales de agua del sistema de ACS mostrados en las gráficas 6.1-14 y 6.1-15 (ver anexos), los cuales están referenciados en la tabla 6.1-6 anterior, estos valores serán los máximos y mínimos demandados por el sistema.

Por lo que, para poder determinar el tipo de equipo de cogeneración a seleccionar, debemos de analizar dos de los sistemas de cogeneración más usados en la industria en México, que son:

- Cogeneración con Motor Alternativo

El motor alternativo genera la mayor cantidad de energía eléctrica por unidad de combustible consumido, del 34 al 41%, aunque los gases residuales son a baja temperatura, entre 200 y 250 °C. Sin embargo, en aquellos procesos en los que se puede adaptar, la eficiencia de cogeneración alcanza valores similares a los de las turbinas de gas (85%). Con los gases residuales se puede producir vapor de baja presión (de 10 a 15 kg/cm2) o agua caliente de 80 a 100 °C [14].

- Cogeneración con microturbinas

Las microturbinas difieren substancialmente de la mayoría de los métodos tradicionales de generación de energía eléctrica usados en la industria, con emisiones sumamente bajas, y que resultan particularmente útiles en muchísimas aplicaciones industriales y comerciales. Una microturbina es esencialmente una planta de poder miniatura, autocontenida, que genera energía eléctrica y calorífica en rangos desde 30 kW hasta 1,2 MW en paquetes múltiples (multipacks).

Tiene una sola parte móvil, sin cajas de engranes, bombas u otros subsistemas, y no utiliza lubricantes, aceites o líquidos enfriantes [14].

Uno de los usos más prácticos y eficientes de la microturbina está en la cogeneración. Utilizando ambas formas de energía simultáneamente, energía eléctrica y calor, implica precisamente maximizar el uso del combustible con eficiencias del sistema entre 70-80%. Empresas comerciales, pequeñas industrias, hoteles, restaurantes, clínicas, centros de salud, y una multitud de otras aplicaciones pueden combinar sus necesidades de electricidad y energía térmica mediante el uso de microturbinas como sistemas de cogeneración que anteriormente era difícil de lograr [14].

Por la zona que está enclavado el hotel propuesto, por el tipo de actividad preponderante de esta, el uso de tecnologías especializadas, como son las microturbinas, y por la falta de infraestructura de mantenimiento, operación y reparación de estos equipos, se ha decidido por utilizar los motores de combustión interna o motor alternativo, alimentado por gas licuado del petróleo (GLP), por cómo se han ido posicionando en el mercado del país, ya que, el mantenimiento que requieren no es tan especializado, aceptan de mejor manera combustibles no tan limpios, como es el biogás, que contiene una mezcla de otros gases y porque son muy similares a los equipos electrógenos que se utilizan en la hotelería para suministrar energía cuando falla la red eléctrica de la C.F.E.

No se utilizará el gas natural, ya que, en la península de Yucatán, no existe una red de distribución de este combustible, lo que si existe, son plantas de distribución de GLP por medio de tanques cisterna de 10000 lts, que son los que van llenando los tanques estacionarios de almacenamiento a lo largo de la isla de Cozumel y la Riviera Maya.

La empresa GASPORC, S.A. (www.gasporc.com) ubicada en Lleida, Cataluña, España, cuyo gerente es el Mtro. Oscar Morales, nos ha apoyado con los cálculos de respaldo, utilizando los mismos datos que hemos calculado y presentado con anterioridad, tanto de la generación de biogás, como de la cogeneración, y así, poder determinar las diferencias entre un cálculo teórico y otro real práctico (en el caso del biogás), además de ofrecer los costos orientativos del proyecto en conjunto, incluyendo planos y especificaciones técnicas de los equipos.

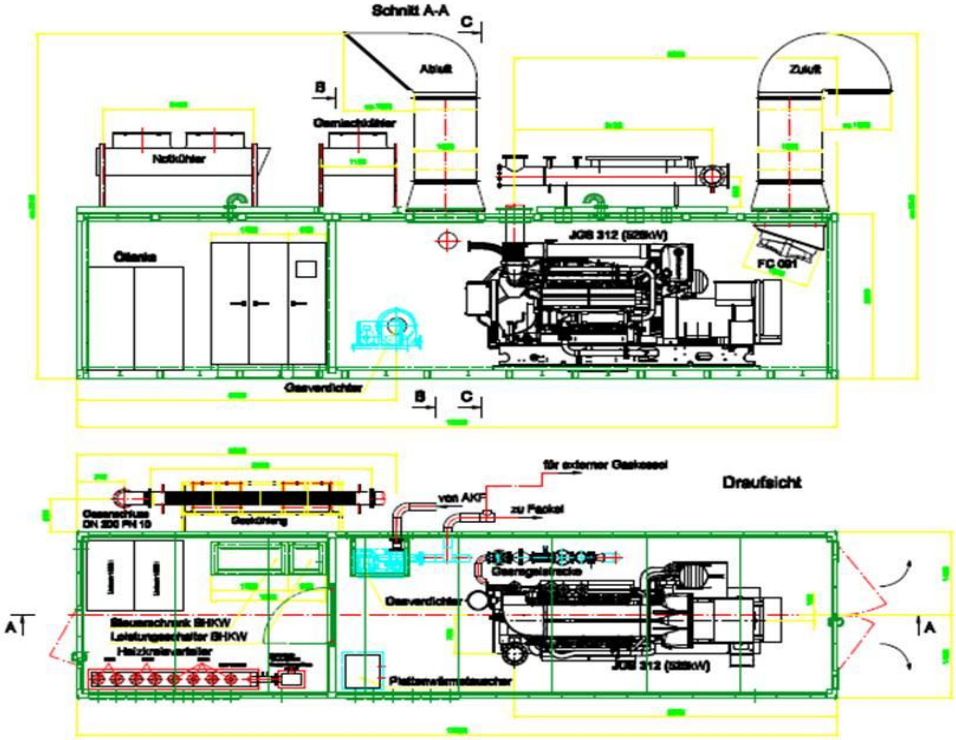
Por lo que presentaremos en resumen los equipos propuestos, y en los capítulos 7 y 8, desarrollaremos el tema del ahorro energético y económico, respectivamente.

Tabla 6.1-7. Equipos de cogeneración y caldera de respaldo propuestos.

Cogeneración				
Equipo	Producción energía eléctrica	Producción energía térmica	Inyección energía	Horas de trabajo al año esperadas
Equipo de cogeneración, con motor de combustión interna para biogás y GLP (η=82,8%).	526 kWe	553 kWt	1302 kW_{PCI}	8 760 horas
Caldera de respaldo				
Equipo	Potencia media térmica	Consumo de combustible	Potencia de combustible promedio	Rendimiento o eficiencia (η)
Generador de agua caliente de respaldo.	340 kWt	3 530 MWh_{PCI}/año	400 kW_{PCI}	85%

Fuente: elaboración propia con datos de la empresa GASPORC, S.A. por parte del Mtro. Oscar Morales, septiembre 2013.

Figura 6.1-3 Esquema equipo de cogeneración propuesto G.E. modelo JMS 312 GS-BL.



Fuente: GASPORC, S.A. Oficina Lleida, España. www.gasporc.com Septiembre 2013.

Figura 6.1-4 Características técnicas generales del equipo de cogeneración propuesto para el hotel G.E. modelo JMS 312 GS-BL.

Especificación técnica

Módulo de Cogeneración

JMS 312 GS-B.L

G Spanien

Potencia eléctrica
526 kW el.

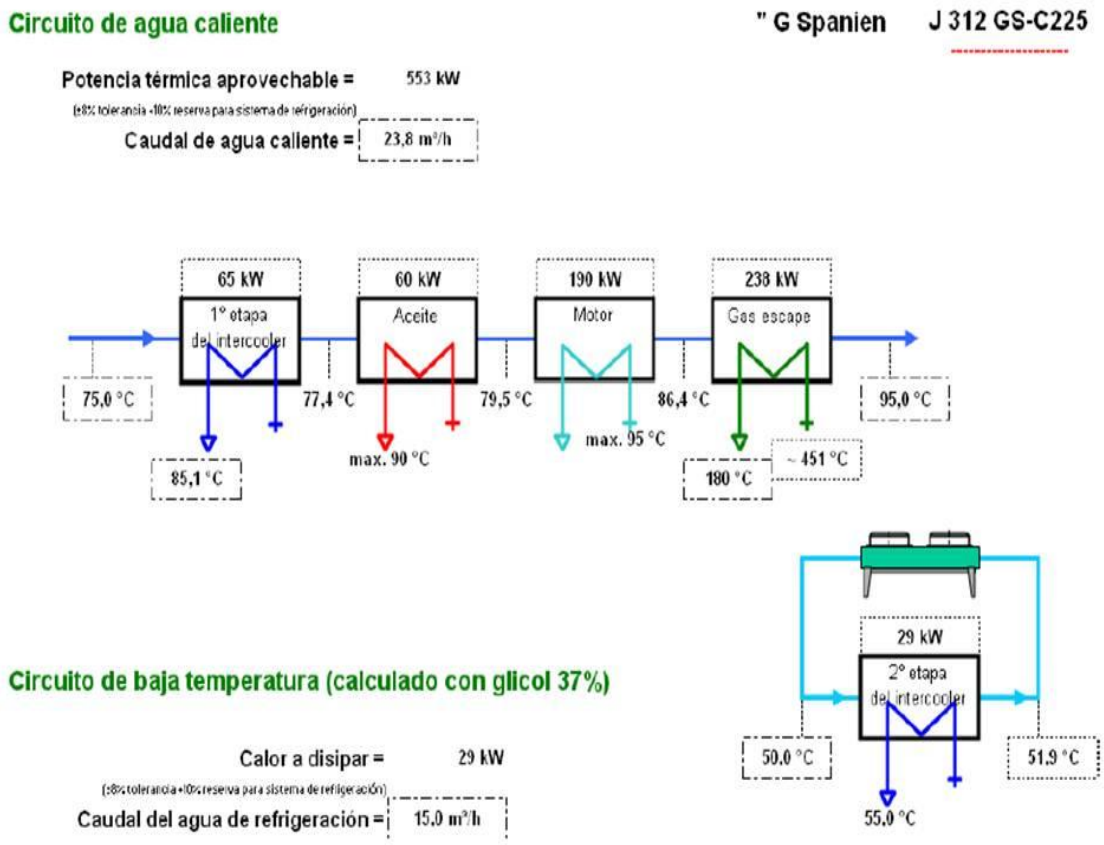
Potencia térmica
553 kW

Emisiones
NOx < 500 mg/Nm³ (5% O2)

Datos referidos a:				Plena carga	Carga parcial	
Poder calorífico inferior del gas (PCI)		kWh/Nm³		5		
				100%	75%	50%
Energía invertida		kW	[2]	1.302	1.008	714
Caudal de gas		Nm³/h	*)	260	202	143
Potencia mecánica		kW	[1]	544	408	272
Potencia eléctrica		kW el.	[4]	526	393	260
Potencia térmica aprovechable						
~ 1° etapa del intercooler		kW		65	24	1
~ Aceite		kW		60	52	45
~ Agua de camisas		kW		190	183	150
~ Gases de escape enfriados hasta 180 °C		kW		238	183	128
Potencia total térmica aprovechable		kW	[5]	553	442	324
Potencia total suministrada		kW total		1.079	835	584
Calor a disipar						
~ 2° etapa del intercooler		kW		29	16	4
~ Aceite		kW		~	~	~
~ Calor superficial	ca.	kW	[7]	50	50	52
~ Calor restante		kW		13	10	7
Consumo específico de combustible		kWh/kWh	[2]	2,39	2,47	2,63
Consumo de aceite lubricante	ca.	kg/h	[3]	0,16	~	~
Rendimiento eléctrico		%		40,4%	39,0%	36,4%
Rendimiento térmico		%		42,5%	43,8%	45,4%
Rendimiento total		%	[6]	82,8%	82,9%	81,8%
Circuito de agua caliente:						
Temperatura de salida		°C		95,0	91,0	86,7
Temperatura de retorno		°C		75,0	75,0	75,0
Caudal de agua caliente		m³/h		23,8	23,8	23,8

Fuente: GASPORC, S.A. Oficina Lleida, España. www.gasporc.com Septiembre 2013.

Figura 6.1-5 Esquema de aprovechamiento térmico de 553 kWt en el equipo de cogeneración propuesto.



Fuente: GASPORC, S.A. Oficina Lleida, España. www.gasporc.com Septiembre 2013.

6.2 Biogás.

El biogás es conocido como un biocombustible en estado gaseoso y que proviene de la digestión anaeróbica de la biomasa, en este caso, de los residuos orgánicos de desecho generados en el hotel. La composición de este gas depende en gran medida del tipo de materia biodegradable que sea tratada, pero generalmente se trata en gran manera de metano CH_4, dióxido de carbono CO_2 y otros gases, en proporciones variadas y que se indican de manera general en la tabla 6.2-1 siguiente

Tabla 6.2-1. Concentraciones de gases presentes en el biogás.

CH_4	CO_2	NH_3, H_2O, H_2	H_2S
50-80%	20-50%	1-5%	<4.000 ppm

Fuente: Ramírez y Chimenos, 2011-2012, parte 1 diapositiva 18 [15] adaptado.

Los residuos orgánicos son tratados en biodigestores, en donde se lleva a cabo un proceso complejo de descomposición de la materia por medio de bacterias y de donde se desprende el biogás, este proceso se realiza en 4 etapas: a) desintegración e hidrólisis; b) acidogénesis; c) acetogénesis, y; d) metanogénesis (figura 6.2-1, ver anexos) [16]. Tanto la cantidad, como la composición de este biogás, dependen de la temperatura a la que se lleve el proceso, del PH existente en el ambiente digestor, del tiempo de residencia en el biodigestor, de la cantidad de agua presente en el medio, de la cantidad de materia biodegradable, de la relación entre el carbono C y el nitrógeno N existente en la mezcla, la cual varía según el tipo de materia biodegradable que se esté manejando, de la presencia de inhibidores de las reacciones de las bacterias, de las inoculaciones realizadas y del potencial redox.

El proceso de la obtención del biogás, en general, se desarrolla en tres etapas (si lo vemos desde el punto de vista de presencia de las bacterias que degradarán la materia orgánica), la primera es donde encontramos a las bacterias hidrolíticas y acidogénicas, la segunda es donde se encuentran las bacterias acetogénicas y por último, tenemos las bacterias metanogénicas hidrogenófilas y acetocálticas (figura 6.2-1, ver anexos), algunos autores toman como válida esta división de tres etapas, aunque puede dividirse también en cuatro etapas: a) hidrólisis; b) acidogénesis; c) acetogénesis, y; d) metanogénesis, para describir el proceso de metanización de la materia orgánica de manera anaeróbica [16].

La desventaja de este proceso de fermentación anaeróbica, es la lentitud a la que las bacterias degradan la materia orgánica, la forma en cómo se compensa el largo tiempo de fermentación, es la gran cantidad de microorganismos que deberán estar presentes en las etapas de este proceso y el volumen de materia [16].

Las cuatro etapas en el proceso de metanización de la materia orgánica de manera anaeróbica, son:

I. Hidrólisis.

En esta primera fase, los compuestos sin disolver como las proteínas, grasas y celulosa son convertidos en monómeros (fragmentos solubles en agua) por las exoenzimas (hidrolasas) unas bacterias de facultades aeróbicas y anaeróbicas (figura 6.2-2, ver anexos) [15], esto es, puede haber una pequeña cantidad de oxigeno presente en esta etapa (tabla 6.2-2 ver anexos).

Los microorganismos facultativos anaeróbicos, toman el O_2 disuelto en el agua presente y esto causa el bajo potencial redox, el cual es necesario para los microorganismos exclusivos anaeróbicos presentes en las otras etapas siguientes [15].

$$(C_6H_{10}O_5) + n\ H_2O \longrightarrow n\ C_6H_{12}O_6$$

Celulosa Glucosa

II. Acidogénesis.

Los monómeros formados en la fase hidrolítica, son tomados por diferentes bacterias facultativas anaeróbicas y son degradados en ácidos orgánicos de cadena corta, en moléculas con carbonos que van de los C1 a los C5 (por ejemplo: ácido butírico, ácido propiónico, acetatos, ácido acético), en alcoholes, hidrógeno y dióxido de carbono. Cuanto mayor sea la presión parcial del hidrógeno, menor número de compuestos reducidos, como el acetato se forman (figura 6.2-3, ver anexos) [15].

III. Acetogénesis.

Los productos de la fase de acidogénesis sirven como sustratos de otro tipo de bacterias, las de la fase acetogénica (tabla 6.2-3, ver anexos) [15].

Las reacciones en la fase acetogénica son endergónicas y en esta fase, los microorganismos constantemente reducen exergónicamente el H_2 y el CO_2 a acido acético. Las bacterias acetogénicas son obligatoriamente productoras de H_2, dentro de un proceso estrictamente anaeróbico [15]:

$$2CO_2 + 4H_2 \longleftrightarrow CH_3COOH + 2H_2O$$

IV. Metanogénesis.

La formación del metano toma forma en condiciones estrictamente anaeróbicas, estas reacciones son exergónicas (tabla 6.2-4, ver anexos). Los sustratos generados en esta fase pudieran ser agrupados en tres grupos, tales como [15]:

1. CO_2 type: CO_2, $HCOO^-$, CO
2. Methyl type: CH_3OH, CH_3NH_3, $(CH_3)_2NH_2^+$, $(CH_3)_3NH^+$, CH_3SH, $(CH_3)_2S$
3. Acetate type: CH_3COO^-

La presencia de las bacterias que degradarán la materia orgánica en el proceso que incluyen las etapas anteriormente mencionadas se indica en la figura 6.2-4 (ver anexos), en donde también se muestran los procesos que se llevan a cabo y las etapas.

La codigestión anaeróbica de los residuos orgánicos, es la digestión de dos o más tipos de residuos orgánicos biodegradables, de orígenes diferentes, esta diversidad logra compensar la falta de sustratos y balancea mejor la cantidad y tipo de nutrientes contenidos en estos, para así poder obtener una mayor cantidad de biogás en un menor tiempo de residencia en el biodigestor, además, de aprovechar todas las fuentes de biomasa en el hotel.

Según las investigaciones y los cálculos termodinámicos de Jeris & McCarthy, en 1965 y Kaspar & Wuhrmann, en 1978, indicados por Szűcs et al [17], muestran que el 70% del metano generado se genera durante la descarbolixación del acido acético y el 30% restante proviene de la reducción del dióxido de carbono.

$$\mathbf{CH_3COOH \rightarrow CH_4 + CO_2} \qquad \mathbf{(\Delta G° = -39{,}5\ kJ)}$$
$$\mathbf{CO_2 + 4\ H_2 \rightarrow CH_4 + 2\ H_2O} \qquad \mathbf{(\Delta G° = -145\ kJ)}$$

Para mantener el balance en el proceso de degradación se requiere la siembra de material biodegradable, esto es, un aumento en la configuración correcta de la relación de la siembra de material metanogénico. Aunque la relación exacta de material a sembrar es difícil de lograrla de manera económica, ya que, la siembra insuficiente de este material acidifica el reactor, en algunos casos lo modera, esto puede ser compensado con el aumento de tiempo de residencia, del tamaño del reactor y del aumento del material metanogénico sembrado, que, aunque aumenta la producción de biogás, también aumenta el tamaño del reactor [17].

Como ya hemos mencionado, la producción de biogás y del metano, dependen del tipo de sustratos que sean degradados en el proceso, además de otros parámetros, por eso en esta aplicación, se tomara como base los datos óptimos para la generación del biogás, así como del cuidado de no exceder o estar por debajo de los valores recomendados por Joan Mata-Álvarez [18]:

- FACTORES AMBIENTALES.
  a. Nutrientes.
     1. Relación de COD / N / P = 600 / 7 / 1
     2. Relación de C/N ≈ 25/1
  b. Sustancias toxicas.
     1. H_3/NH_4^+, H_2S, SO_4^{2-}, O_2, metales pesados, SH_2, NH_3, VFA (Ácidos Grasos Volátiles, por sus siglas en ingles), compuestos xenobióticos.
  c. Temperatura (rangos de operación).
     1. Mesofílico ≈ 35°C.
  d. Otras (alcalinidad, pH, potencial redox).
     1. Potencial redox > -350mV.
     2. pH, entre los 6 y 7,5.
     3. Alcalinidad, en función del pH y del CO_2 disuelto, de 1,5 g/L.

En un hotel promedio, ya sea en Cozumel o en la Riviera Maya, se generan aproximadamente la misma cantidad y tipo de materia residual, ya que por la cercanía, temperatura ambiente y condiciones ambientales, los residuos no cambian lo suficiente como para tratarlos de diferente manera o con diferentes valores.

Los residuos orgánicos que generalmente se presentan en un hotel de estas características ya mencionadas en el capítulo 5 y que pueden ser recuperados y separados desde origen de una manera ordenada y eficiente por el personal del hotel, pueden clasificarse en:

- Grasas o aceites de freidoras de cocinas y bares.
- Restos de comidas de restaurantes, cocina y bares.
- Papel mezclado en sus diferentes tipos.
- Restos de podas de jardines, y pudiendo agregar:
- Fangos residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales que generalmente se tiene en las instalaciones de los hoteles de estas áreas, debido a regulaciones nacionales para la protección del medio ambiente y ecosistema, emitidas por la Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) o por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) que por la fragilidad que este presenta.

En el capítulo quinto de este trabajo (Caracterización de la demanda) se especifican las condiciones y características del hotel tipo, según estas características y considerando los datos publicados por el Programa Estatal para la Prevención y Gestión Integral de Residuos del Estado de Quintana Roo, México de 2009-2013 [19], encontramos en el cuadro 5 de esta publicación, que la cantidad de residuos generados por habitante o usuario (huésped) es de 1,28 kg/día, basándonos en la grafica 5-1 en donde se ilustra el promedio de huéspedes y trabajadores por semana en un año tipo en el hotel en cuestión, se obtendrá la grafica referente a la cantidad de basura generada en el hotel por semana en al año, y en el cuadro 6 de esta publicación indica el porcentaje de estos residuos, la cantidad que representa la fracción orgánica, que en este caso, es del 49% y de papel del 11% [19].

Con estos datos, podemos obtener que los valores de la recolección de la fracción orgánica de los desechos de restos de alimentos y cocinas, de papel mezclado (gráfica 6.2-1 ver anexos) sean en resumen conforme a la tabla 6.2-5 siguiente, en donde incluiremos los resultados de la cantidad de grasas obtenidas de desecho generadas, DURMAN [23] (gráfica 6.2-2 ver anexos) por persona de manera semanal, la cantidad de restos de podas de áreas verdes producidos, VIKING [24] (gráfica 6.2-3 ver anexos) apoyado por los datos de la tabla 4.1, página 82 de Tchobanoglous et al. [25] por semana y con estos datos obtener la cantidad de biogás generado semanalmente en un año tipo promedio desde 2004 al 2013 (semana 20).

Tabla 6.2-5. Cantidad de Grasas, restos de comida y orgánicos, papel mezclado y podas de áreas verdes a ser biodegradados.

	Semana 100% ocupación	Semana máxima ocupación	Semana ocupación media	Semana mínima ocupación
Grasas. (Ton)	0,6	0,5	0,4	0,2
Restos orgánicos y comida (Ton)	3,6	3,1	2,1	1,4
Restos podas áreas verdes (Ton)	4,98	4,98	4,98	4,98
Papel mezclado (Ton)	0,81	0,71	0,47	0,31

Fuente: elaboración propia desde los datos de las graficas 6.2-1, 6.2-2 y 6.2-3. Junio 2013.

Ayudados por los datos, en base seca, de la tabla 4.3 de la página 93 de Tchobanoglous et al. [25] obtenemos las cantidades en kg de los elementos básicos de Carbono, Hidrógeno, Oxígeno, Nitrógeno y Azufre contenidos en los residuos de la anterior tabla e indicados en la tabla 6.2-6 siguiente:

Tabla 6.2-6. Cantidad en kg de los elementos básicos de Carbono, Hidrógeno, Oxígeno, Nitrógeno y Azufre contenidos en los residuos orgánicos generados por el hotel.

	Semana 100% ocupación	Semana máxima ocupación	Semana ocupación media	Semana mínima ocupación
Grasas. (kg)				
Carbono 73%.	436,84	379,12	250,90	163,03
Hidrógeno 11,5%.	68,82	59,72	39,52	25,68
Oxígeno 14,8%.	88,57	76,86	50,87	33,05
Nitrógeno 0,4%.	2,39	2,08	1,37	0,89
Azufre 0,1%.	0,60	0,52	0,34	0,22
Cenizas 0,2%.	1,20	1,04	0,69	0,45
Relación C/N	182,50	182,50	182,50	182,50
Restos de comida y orgánicos. (kg)				
Carbono 48%.	519,68	379,12	298,47	163,03
Hidrógeno 6,4%.	69,29	59,72	39,80	25,68
Oxígeno 37,6%.	407,08	76,86	233,80	33,05
Nitrógeno 2,6%.	28,15	2,08	16,17	0,89
Azufre 0,4%.	4,33	0,52	2,49	0,22
Cenizas 5,0%.	54,13	1,04	31,09	0,45
Relación C/N	18,46	*182,50*	18,46	*182,50*
Restos de podas de áreas verdes. (kg)				
Carbono 46%.	1174,66	1174,66	1174,66	1174,66
Hidrógeno 6%.	153,22	153,22	153,22	153,22
Oxígeno 38%.	970,37	970,37	970,37	970,37

Nitrógeno 3,4%.	86,82	86,82	86,82	86,82
Azufre 0,3%.	7,66	7,66	7,66	7,66
Cenizas 6,3%.	160,88	160,88	160,88	160,88
Relación C/N	13,53	13,53	13,53	13,53
Papel mezclado. (kg)				
Carbono 43,4%.	330,51	286,84	189,83	123,35
Hidrógeno 5,8%.	44,17	38,33	25,37	16,48
Oxígeno 44,3%.	337,37	292,79	193,76	125,90
Nitrógeno 0,3%.	2,28	1,98	1,31	0,85
Azufre 0,2%.	1,52	1,32	0,87	0,57
Cenizas 6,0%.	45,69	39,66	26,24	17,05
Relación C/N	144,67	144,67	144,67	144,67

Fuente: elaboración propia desde la tabla 6.2-5 y con lo indicado en la tabla 4.3 de la pag. 93 de Tchobanoglous et al. [25]. Junio 2013.

Ahora realizamos un resumen de cada elemento sumando los carbonos de cada residuo, los hidrógenos de cada residuo y así los demás elementos:

Tabla 6.2-7. Resumen de cantidades en kg (a menos de que se indique otra unidad) de elementos de los residuos orgánicos.

	Semana 100% ocupación	Semana máxima ocupación	Semana ocupación media	Semana mínima ocupación
Carbono.	2 462	2 292	1914	1 655
Hidrógeno.	335	311	258	221
Oxígeno.	1 803	1 693	1449	1 281
Nitrógeno.	120	115	106	99
Azufre.	14	13	11	10
Cenizas.	262	249	219	199
Peso de todos los elementos.	4 996	4 673	3 957	3 465
Relación C/N	*20,6*	*19,9*	*18,1*	*16,7*
Cenizas %.	5,3	5,3	5,5	5,7
Peso de la fracción biodegradable sin cenizas.	4 734	4 425	3 738	3 267

Fuente: elaboración propia. Junio 2013.

Tomando los pesos de los valores de la tabla 6.2-7 y sin considerar el peso de las cenizas, generaremos la tabla 6.2-8, en donde tendremos la cantidad total de moles por elemento, partiendo de sus pesos molares en gr/mol.

Tabla 6.2-8. Composición molar por componente.

	Semana 100% ocupación	Semana máxima ocupación	Semana ocupación media	Semana mínima ocupación
Carbono (12gr/mol)	205 141	190 969	159 488	137 914
Hidrógeno (1,01gr/mol)	332 173	308 326	255 352	219 051
Oxígeno (16gr/mol)	112 712	105 832	90 550	80 078
Nitrógeno (14,01gr/mol)	8 540	8 231	7 543	7 072
Azufre (32,07gr/mol)	440	413	354	314

Fuente: elaboración propia con datos de la Tabla Periódica de los Elementos. Junio 2013.

Para obtener la formula química que nos dará el total de CH_4, CO_2, NH_3 y H_2S a obtener y la cantidad de H_2O que deberos suministrar al proceso, teóricamente, relacionaremos las cantidades de moles de los elementos por cada mol de Azufre presente en la mezcla, esto es, cuantos moles de Carbono por cada mol de Azufre, etc. (tabla 6.2-9).

Tabla 6.2-9. Relación de moles de elementos por cada mol de Azufre, S = 1.

	Semana 100% ocupación	Semana máxima ocupación	Semana ocupación media	Semana mínima ocupación
Carbono C	466	462	450	439
Hidrógeno H	755	746	720	698
Oxígeno O	256	256	255	255
Nitrógeno N	19	20	21	23
Azufre S	1	1	1	1

Fuente: elaboración propia. Junio 2013.

Con estos datos por fin tenemos la composición de la formula química a trabajar [15]:

$$C_cH_hO_oN_nS_s + yH2O \longrightarrow xCH_4 + (c - x)\ CO_2 + nNH + sH_2S$$

Donde:

x = 0.125*(4c+h-2o-3n+2s)

y = 0.250*(4c-h-2o+3n+2s)

Para cada valor de las semanas utilizamos la formula anterior y así obtener el total de CH_4, CO_2, NH_3 y H_2S y la cantidad de H_2O que deberos suministrar al proceso (tabla 6.2-10).

Tabla 6.2-10. Cantidad de moles de CH_4, CO_2, NH_3, H_2S obtenidos y la cantidad de H_2O a suministrar al proceso.

	Semana 100% ocupación	Semana máxima ocupación	Semana ocupación media	Semana mínima ocupación
y H_2O	164	163	159	155
x CH_4	256	253	243	235
CO_2	208	209	207	204
NH_3	19	20	21	23
H_2S	1	1	1	1

Fuente: elaboración propia. Junio 2013.

Con los valores de la tabla 6.2-10 podremos obtener la cantidad de elementos en gramos de la formula química obtenida para las semanas indicadas anteriormente, multiplicando los valores de los moles obtenidos por los pesos moleculares de los elementos.

Tabla 6.2-11. Cantidad de gramos de CH_4, CO_2, NH_3, H_2S obtenidos y la cantidad de H_2O a suministrar al proceso.

	Semana 100% ocupación	Semana máxima ocupación	Semana ocupación media	Semana mínima ocupación
Carbono C	5 594	5 542	5 400	5 271
Hidrógeno H	762	753	728	705
Oxígeno O	4 098	4 095	4 088	4 081
Nitrógeno N	272	279	298	316
Azufre S	32	32	32	32
Total de CHONS	10 758	10 702	10 545	10 404
H_2O	2 963	2 935	2 858	2 788
CH_4	4 112	4 057	3 905	3 768
CO_2	9 231	9 192	9 086	8 993
NH_3	332	340	364	385
H_2S	34	34	34	34

Fuente: elaboración propia. Junio 2013.

Ahora, relacionaremos la cantidad de gramos obtenidos anteriormente con la materia orgánica sin cenizas generada en el hotel y que está indicado en la tabla 6.2-7, para así determinar la cantidad de kg de cada elemento, esto es: el total de CHONS dividido entre el total de CH_4 y multiplicado por la cantidad de materia orgánica sin cenizas biodegradable en su respectiva semana. Lo mismo haremos con los demás elementos (CO_2, NH_3, H_2S y H_2O).

Tabla 6.2-12. Valores en peso (kg) de CH_4, CO_2, NH_3, H_2S y H_2O por semana.

	Semana 100% ocupación	Semana máxima ocupación	Semana ocupación media	Semana mínima ocupación
H_2O	1 304	1 214	1 013	875
CH_4	1 810	1 678	1 384	1 183
CO_2	4 062	3 801	3 221	2 823
NH_3	146	141	129	121
H_2S	15	14	12	11

Fuente: elaboración propia. Junio 2013.

A manera ilustrativa y utilizando los datos de la semana al 100% de ocupación, la fórmula química con todos los datos calculados hasta el momento quedaría:

$$C_{407}H_{648,81}O_{234,53}N_{19,42}S + 142,59H_2O \rightarrow 218,94CH_4 + 188,06CO_2 + 19,42NH_3 + H_2S$$

9 595,86 gr 2 569,51 gr 3 511,72 gr 8 274,72 gr 332,02 gr 34,09 gr

12 165,37 gr ≈ 12 152,55 gr

Si dividimos los datos de la tabla 6.2-12 por sus respectivos pesos específicos, obtenemos la cantidad de elemento en m^3 indicados en la tabla 6.2-13, considerando que la densidad del H_2O es de 0,992 kg/m3 a la temperatura de operación del proceso, la del CH_4 es de 0,718 kg/m^3, la del CO_2 es de 1,978 kg/m^3, la del NH_3 es de 0,771 kg/m^3 y la del H_2S es de 1,538 kg/m^3 (datos del peso específico obtenidos de la tabla 11.2 p. 431 de Tchobanoglous et al. [25]).

Tabla 6.2-13. Cantidad en volumen (m^3) de biogá, CH_4, CO_2, NH_3, H_2S y H_2O por semana.

	Semana 100% ocupación	Semana máxima ocupación	Semana ocupación media	Semana mínima ocupación
H_2O inyectada m^3	1,3	1,2	1	0,9
Total m^3 de CH_4	2 520	2 336	1 928	1 647
Total m^3 de CO_2	2 054	1 922	1 628	1 427
Total m^3 de NH_3	189	183	167	157
Total m^3 de H_2S	9,8	9,2	7,9	7
Total biogás (m^3)	4 773	4 450	3 731	3 239
Rendimiento de obtención de biogás (m^3/kg).	1,008	1,006	0,998	0,991
Porcentaje de componentes del biogás obtenido (%)				
CH_4	53%	52,5%	51,7%	51%
CO_2	43%	43,2%	43,7%	44 %
NH_3	3,8%	4,1%	4,4%	4,8%
H_2S	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%

Fuente: elaboración propia. Junio 2013.

El otro afluente que podemos utilizar como sustrato para la digestión anaeróbica son los fangos residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales que generalmente se tiene en

las instalaciones de los hoteles de estas áreas, debido a regulaciones nacionales para la protección del medio ambiente y ecosistema, emitidas por la Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) o por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) que por la fragilidad que este presenta, tal y como lo mencionamos en el principio de esta parte 6.2.

Por lo que utilizaremos el dato base de Metclaf-Eddy traducido por Juan de Dios Trillo Monsoriu y Luis Virto Albert [26] en su tabla 2.12 de la pagina 36, capitulo 2, en donde la cantidad de descarga de aguas residuales de los distritos comerciales para hoteles son de 380 lt/día persona, esto debido a que no se tienen los registros de las descargas por persona en el área de Cozumel y la Riviera Maya (México). Con este dato y siguiendo la propuesta del cálculo de las 4 semanas tipo podemos generar la tabla 6.2-14 siguiente:

Tabla 6.2-14. Cantidad de aguas residuales a tratar en la planta de tratamiento del hotel.

	Semana 100% ocupación	Semana máxima ocupación	Semana ocupación media	Semana mínima ocupación
Agua residual producida (m^3)	2 187	1 898	1 256	816

Fuente: elaboración propia. Junio 2013.

Siguiendo a Metcalf-Eddy [26], consideraremos algunos datos como validos, ya que, la estabilización de los fangos residuales son básicos en el funcionamiento de una planta de tratamiento de aguas residuales y si el tiempo de retención hidráulica de estos fangos es de al menos 20 días (en otras pruebas esto se ha utilizado con éxito, tal y como lo señala Beatrix Rózsáné Szűcs1, Miklós Simon y György Füleky [27]) antes de enviarlos al biodigestor, entonces lograremos unos buenos fangos a tratar anaeróbicamente en el digestor.

Al igual que hicimos para los residuos orgánicos anteriores, lo haremos ahora para los fangos de las aguas residuales.

Haremos las siguientes consideraciones para el cálculo [26]:

- DBO (Demanda Bioquímica de Oxigeno) eliminados por cada 1000m^3 de agua residual producida: 138 kg.
- ST (Sólidos Totales) por cada 1000m^3 de agua residual producida: 144 kg.
- Fango con una humedad del 95%.
- Peso especifico del fango de 1,02 kg/dm^3.
- Tiempo medio de retención celular θ_C de 10 días.
- Eficiencia de la utilización del residuo e de 0,80.
- Coeficiente de producción o crecimiento Y de 0,05 kg/kg de DBO utilizado.
- Coeficiente de decrecimiento k_d de 0,03 por semana.
- Se utilizará un reactor de mezcla completa.
- Se tiene la cantidad de Nitrógeno y Fósforo requeridos para el crecimiento celular.
- Las constantes serán para temperaturas de 35ºC a 38ºC, rango Mesofílico.

El volumen del fango será calculado mediante la fórmula (pagina 631 y 632 del capítulo 13 de Metcalf-Eddy [26]):

Volumen del fango = (DBO eliminados / 1000 m3 * Volumen de agua residual descargada)
(Peso específico * 1000 * por unidad de cantidad de fango base seca)

Por lo tanto:

Tabla 6.2-15. Cantidad de Volumen del fango, carga de DBO ó F (Factor de oxigenación), peso del fango, volumen del digestor (V), carga volumétrica, SV, porcentaje de estabilización, volumen de CH_4 producido, ajuste en la producción de CH_4.

	Semana 100% ocupación	Semana máxima ocupación	Semana ocupación media	Semana mínima ocupación
Fango producido (m^3)	6,2	5,4	3,6	2,3
Carga DBO ó F (kg)	301,8	261,9	173,3	112,6
Peso del fango (Ton)	6,3	5,5	3,6	2,4
Volumen del digestor (m3)	61,7	53,6	35,5	23
Carga volumétrica (kg DBO/m3)	4,9	4,9	4,9	4,9
Sólidos Volátiles, SV (kg)	9,3	8,1	5,3	3,5
Porcentaje de estabilización (%)	75,7	75,7	75,7	75,7
Volumen de CH_4 producido (m3)	79,9	69,3	45,9	29,8
Producción de CO_2 (m3)	40	34,7	23	15
Producción de biogás (m3)	120	104	69	45
Rendimiento de biogás por cada m^3 de aguas residuales (m^3/m^3).	0,055	0,055	0,055	0,055
Rendimiento de biogás por mil kg de fangos (m^3/Ton).	19	19	19	19

Fuente: elaboración propia tomando las fórmulas de las páginas 631 y 632 del capítulo 13 de Metcalf-Eddy [26]. Junio 2013.

El gas de digestión de los fangos de aguas residuales de las plantas de tratamiento contiene del 65 al 70% en volumen de CH_4 y del 25 al 30% de CO_2 y pequeñas cantidades de N2, H2 y otros gases, así mismo, tiene un peso específico de 0,86 con respecto al aire [26].

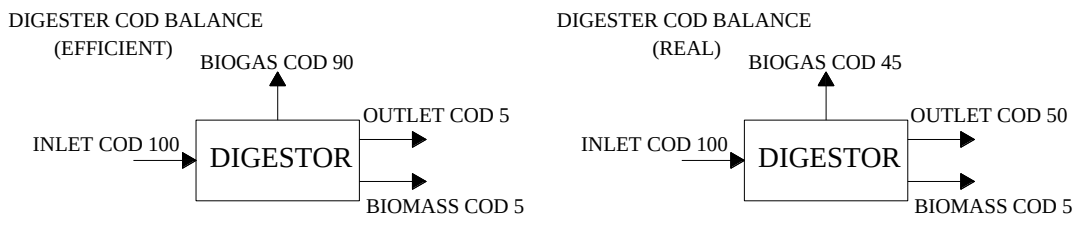
Este cálculo se ha realizado de manera teórica, pero en la realidad, la obtención de biogás de una manera económicamente factible, llega al 45% o al 50% de la producción de biogás, debido a que, se requiere de mayor energía para obtener el 100% de la producción de biogás, que la misma energía contenida en ese biogás. Económicamente, la mejor opción, es llegar a porcentajes de generación de biogás del 45% al 50% y el resto, que será liquido y sólido, deberá ser tratado aeróbicamente y estabilizarlo para la obtención de fertilizante, que servirá para las mismas áreas verdes del hotel, tal y como lo menciona Ramírez y Chimenos [15] y también Joan Mata-Álvarez [18] esta producción no es al 100%, de hecho, solo alcanza a producir el 90% aún sea teóricamente.

Tabla 6.2-16. Resumen cantidad de biogás producido volumen de CH_4 producido, ajuste en la producción de CH_4.

	Semana 100% ocupación	Semana máxima ocupación	Semana ocupación media	Semana mínima ocupación
Total biogás residuos orgánicos (m^3)	4 773	4 450	3 731	3 239
Total biogás lodos residuales (m^3)	120	104	69	45
Total biogás (m^3)	4 893	4 554	3 800	3 284
Producción real vs producción teórica (%).	33%	32%	32%	29%

Fuente: elaboración propia, septiembre 2013.

Figura 6.2-5. Producción teórica y real de biogás en el biodigestor.



Fuente: Ramírez y Chimenos [15] y Joan Mata-Álvarez [18], adaptado.

La empresa GASPORC, S.A. (www.gasporc.com) ubicada en Lleida, Cataluña, España, cuyo gerente es el Mtro. Oscar Morales, nos ha apoyado con los cálculos de respaldo, utilizando los mismos datos que hemos calculado y presentado con anterioridad, tanto de la generación de biogás, como de la cogeneración, y así, poder determinar las diferencias entre un cálculo teórico

y otro real práctico (en el caso del biogás), además de ofrecer los costos orientativos del proyecto en conjunto, incluyendo planos y especificaciones técnicas de los equipos.

Para el Dr. Josep Ma. Chimenos Ribera, del Centro DIOPMA, del Departamento de Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica, de la Facultad de Química en la Universidad de Barcelona, el porcentaje resultante de comparar la producción teórica con la real, se halla desfasada en esos valores, ya que, se ha considerado toda la materia orgánica en el cálculo teórico, pero no toda ella es biodegradable o requiere tiempos de residencia en el reactor muy largos. Por lo que frecuentemente, en el digestato (fracción sólida a la salida del reactor de biometanización) aún persiste un 50% del material orgánico factible de digerirse. Así mismo, para el Maestro Oscar Morales, Gerente de GASPORC, S.A. en el cálculo real, se ha tenido en cuenta las variables químicas y de ingeniería del proceso de la digestión, como son temperatura, tiempo de retención hidráulica, agitación, inhibidores, relación C/N, etc. y en el cálculo teórico, se ha considerado todo el peso como digerible en el proceso y con una transformación muy alta y homogénea independientemente de la codigestión.

Dicho esto, tomaremos como bueno para la selección del equipo biometanizador los cálculos reales realizados por el Maestro Oscar Morales de la empresa GASPORC, S.A.

Tabla 6.2-16. Producción máxima de biogás a producir en la semana de ocupación al 100% y base para la selección de la planta indicada en la figura 6.2-5.

Biogás				
Equipo	Biogás (m^3/día)	Metano (m^3/día)	Fertilizante orgánico (kg/día)	Energía biogás (GJ)
Planta de biogás y fertilizante.	227	145	3 752	5,4

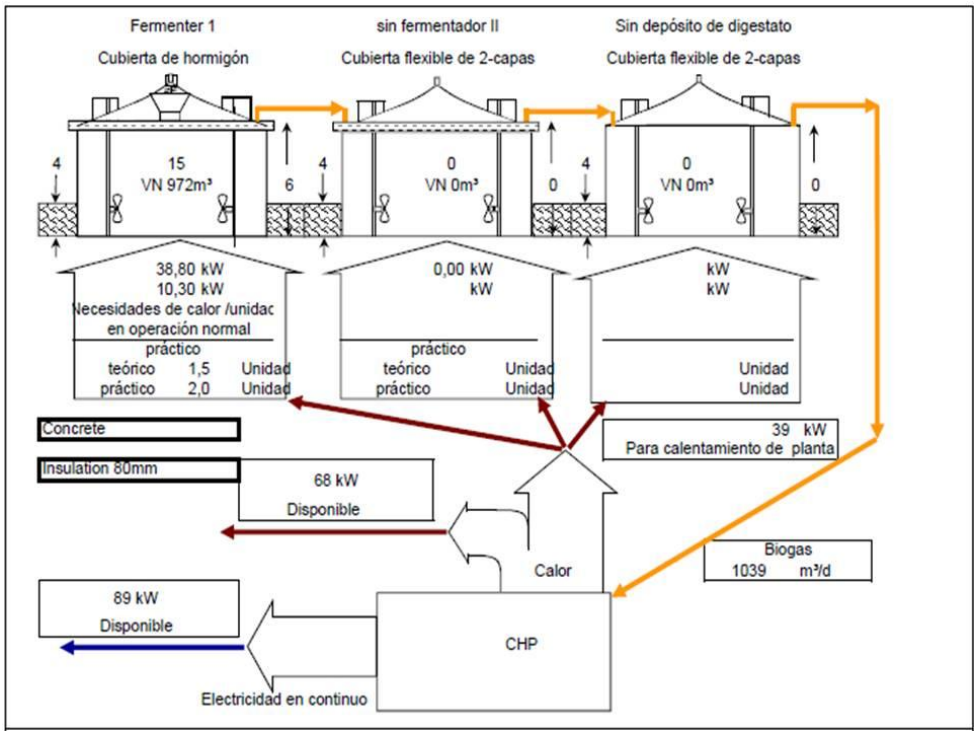
Fuente: elaboración propia con datos de la empresa GASPORC, S.A. por parte del Mtro. Oscar Morales, septiembre 2013.

Tabla 6.2-17. Producción anual de biogás.

Biogás					
Escenarios	Biogás (m^3)	Metano (m^3)	Fertilizante orgánico (Ton)	Energía biogás (GJ)	Semanas
Semana ocupación 100%	227	145	3,7	5,4	4
Semana máxima registrada	208	137	2,3	5,1	11
Semana promedio	173	111	2,1	4,1	23
Semana mínima registrada	132	83	1,7	3,1	15
Totales	**64 659**	**5 885**	**889,3**	**1,55**	**53**

Fuente: elaboración propia con datos de la empresa GASPORC, S.A. por parte del Mtro. Oscar Morales, septiembre 2013.

Figura 6.2-6. Esquema de la planta de biometanización propuesta para el hotel.



Fuente: GASPORC, S.A. Oficina Lleida, España. www.gasporc.com Septiembre 2013.

Figura 6.2-7. Datos característicos de la planta de biometanización propuesta.

UTS Proyectos de Energias Renovables S.L.
Ctra. De Canillas 136, 1°
28043 Madrid, ES

Planta de Biogás
Kairos 100kW
Typ UTS Kairos® 1000

Fecha: 23.09.2013

Oscar Morales
Gerencia
Francesc Macià nº27, 5è 2ª 25007 Lleida
Telf.:+34 973225895
Fax.: +34 973221105
e-mail: gerencia@gasporc.com
www.gasporc.com

Balance de energia de la planta de biogas	
Poder electrico	89 kW
Poder térmico	107 kW
Elect/dia	2.047 kWh/d
Termic/dia	2.461 kWh/d
Elect/dia	712.039 kWh/a
Termic/dia	856.047 kWh/a

Condiciones basica de planta				
Alimentación/día	19 m³/d	CHP	VL	90
Recirculación/día	0 m³/d	CHP	RL	70
Temp. fermentador	40 °C			
Temp. en recirculación	40 °C	Heiz.	VL	65
Temp. Biomasa	8 °C	Heiz.	RL	55
Temp. Ambiente	0 °C			

Autoconsumo			
Electricidad	7 kW	8,0	%
Termica	39 kW	36,3	%
Elect/dia	170 kWh/d		
Termic/dia	931 kWh/d		
Elect/año	62.167 kWh/a		
Termic/año	339.888 kWh/a		

Datos especificos planta	
Producción electrica especifica	0,49 m³Gas/kWh
Consumo electrico específico	3,45 m³Gas/h
Producción específica calor	0,40 m³Gas/kWh
Autoconsumo calor	15,70 m³Gas/h
Características ele	0,83
Tiempo de funcion	8000 h/a

Fuente: GASPORC, S.A. Oficina Lleida, España. www.gasporc.com Septiembre 2013.

6.3 Red Inteligente, micro-red ó SMART GRID

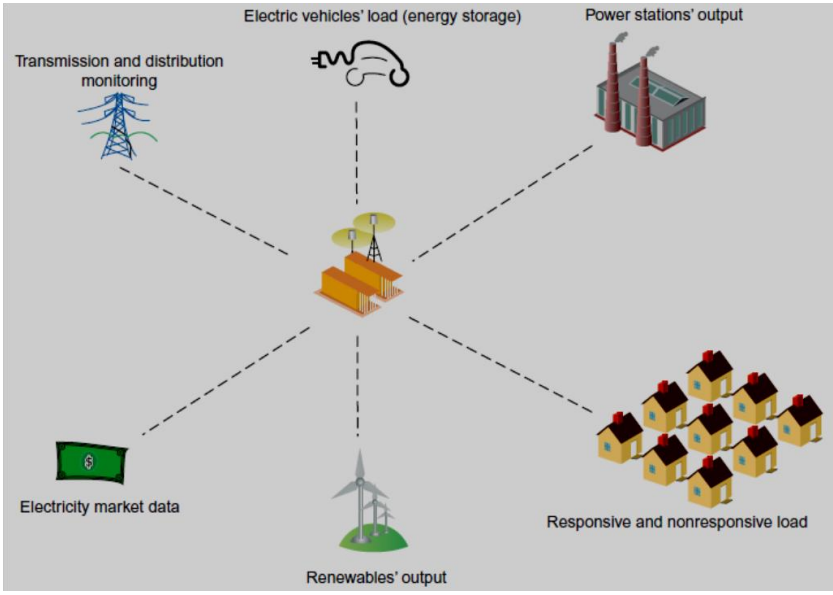
Para el Dr C. R. Bayliss CEng FIET y B. J. Hardy CEng FIET [32], una red inteligente es un nuevo acercamiento a la integración de la generación de energía, los sistemas de transmisión, las redes de distribución y el consumo, pudiendo ser:

- Adaptativa.
- Interactiva.
- Predictiva.
- Integradora, y
- Optimizada.

Es decir, ser capaz de adecuarse a cualquier tipo de fuente de energía, tanto a las fuentes de energías convencionales, como a las fuentes intermitentes de energía renovable, tales como las solar, fotovoltaica, eólica y sin tener algún tipo de restricción. A cualquier valor de voltaje, en cualquier locación e incluyendo las de generación distribuida y las de micro generación [32]. Que en este caso es la cogeneración, o como se le conoce en ámbito internacional, la CHP (Combined Heat and Power, por sus siglas en ingles), que es la generación combinada de calor y energía.

Las microredes, tienen la gran capacidad de diseñarse para poder determinar en tiempo real el comportamiento de la demanda y de la producción de energía, poder visualizar cual tipo de energía o compañía es la que tiene una mejor oferta y que ofrece mayor continuidad y flexibilidad, y junto con equipos de medición inteligentes, controlar y gestionar la operación de los equipos conectados a estos, mediante una red de comunicación compatible con el tipo de comunicación en cada dispositivo de la red inteligente o microred. Tal y como lo muestra la figura 6.3-1 siguiente:

Figura 6.3-1. Esquema básico conceptual de la red inteligente, microred o Smart grid.



Fuente: Bayliss y Hardy, 2012, figura 27.1, p. 1061 [32].

El Instituto de Investigación Tecnológica de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI) y la Universidad Pontificia Comillas, en su libro "Las redes eléctricas inteligentes" [33], indica en la tabla 6.3-1, una descripción general para entender mejor el término de "red inteligente":

Tabla 6.3-1. Explicación del término "red inteligente" para el Instituto de Investigación Tecnológica de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI) y la Universidad Pontificia Comillas.

Acción en la red	Red existente o actual	Red inteligente
Comunicaciones	Ninguna o unidireccional	Bidireccional
Interacción con consumidores	Limitada	Generalizada
Medidores de energía	Electromecánico	Digital
Operación y mantenimiento	Chequeo manual de equipos	Monitorización a distancia
Generación de electricidad	Centralizada	Centralizada y distribuida
Control de flujos de energía	Limitado	Generalizado y flexible
Fiabilidad de suministro	Fallos e interrupciones	Protecciones adaptativas y funcionamiento en isla
Restablecimiento del suministro	Manual	Auto restablecimiento
Topología	Radial	Mallada

Fuente: Instituto de Investigación Tecnológica de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI) y la Universidad Pontificia Comillas, 2011, tabla 2.1, p. 40.

Deberá existir un cambio de las redes unidireccionales anteriores a unas bidireccionales, que puedan afrontar el reto que día con día existe en las mismas redes, para gestionar de manera sostenible el flujo de la energía, desde los centros de producción, hasta los centros de consumo, esto debido a los altos costos de los combustibles fósiles, la alta integración de nuevas fuentes de energía tan variables y los aumentos de las demandas inherentes al propio crecimiento de la población y a la economía de los países o regiones.

En el caso que nos importa en este trabajo, en donde no tenemos la necesidad de exportar a la red eléctrica pública o al Sistema Eléctrico Nacional (SEN), solo contaremos con dos fuentes de inyección de energía eléctrica al hotel, la de la red eléctrica pública de CFE y al del equipo de cogeneración, ambas serán en bajo voltaje, 460V, trifásica, 5 hilos, 60 Hz y en lo que ayudará la red inteligente propuesta para este caso, será a gestionar las demandas de consumos de los equipos eléctricos del hotel, para poder aprovechar al 100% la energía eléctrica generada por el equipo de cogeneración y disminuir así, la energía comprada a la red pública de la CFE, sin olvidar que también se controlará en esta red inteligente, las demandas de calor del sistema de ACS y la gestión en la producción de este calor, mediante los dispositivos compatibles necesarios para este objetivo. Eso ayudará bastante a controlar mejor la gestión de los energéticos que requiere el hotel, ya que, por la variación de ocupación que tiene en el año, habrá meses en el mismo, en el que las demandas varias has en un 100% hacia arriba o hacia abajo, dependiendo de la temporada del año a la que se refiera.

Para poder lograr una operación segura y estable, un numero de dispositivos de alta tecnología, de calidad y económicos, deberán de instalarse en los puntos de las fuentes de la

energía en el hotel y en los puntos en donde se controlan las demandas, tanto eléctricas como térmicas, así como las fuentes de almacenamiento de energía, los cuales deberán estar en intercomunicación y debidamente identificados en la red, para que la micro-red sea común para todos estos dispositivos y puedan controlarse desde un punto en común o centro de control.

Con lo ya elaborado en los puntos 6.1 y 6.2 anteriores, modificaremos el diagrama unifilar del proyecto original (figura 6.1-1) (ver anexos) e integraremos el equipo de cogeneración de 500kW y los puntos de medición y control para poder determinar la microred que se tendrá para gestionar adecuadamente la producción de energía térmica y eléctrica (figura 6.3-2, ver anexos).

Esta fuente de energía (CHP) será considerada como una micro fuente, según S. Chowdhury, S.P. Chowdhury y P. Crossley [34] estas micro-fuentes deberán tener características tipo "plug-and-play". Deberán de estar provistas con Power Electronics Interfaces (PEI, por sus siglas en inglés) o interfaces electrónicas de potencia, para poder implementar el control, la medición y la protección cuando funcionen de manera aislada o en conexión con la microred, pudiendo ir de un modo a otro sin problema.

El control central estará cerca de la micro-fuente (CHP), éste monitoreará todas las variables de cada micro control (MC), señalizado en el diagrama unifilar, estará conectado al centro de control (CC), el cual podrá decidir al estar alimentando la potencia demandada por la red, si desvía ésta a otra, ya sea para disminución de los picos en las demandas o por fallas del voltaje o variaciones en el, de cualquier otro integrante de la micro-red, por medio de su respectivo MC y el dispositivo de corte o conexión al sistema eléctrico en ese punto relacionado a éste MC, pudiendo funcionar como red aislada, si la energía del la red pública de la CFE fallara o como una micro-red conectada en línea con ésta red eléctrica pública.

El mismo sistema se usará para el monitoreo y gestión del calor para el sistema de ACS y todos sus equipos incluidos en éste, por lo que los MC para el sistema térmico, serán los mismos que los eléctricos, ya que, los equipos que manejan el calor y su distribución, también tienen MC's en sus respectivos alimentadores eléctricos del sistema dentro de la micro-red, por lo que los manejaremos como sensores de calor o presión, ya sea para determinar el grado de pérdidas de calor o presión, como para los caudales en estos sistemas. Así que, los MC's por instalar, deberán contar con las salidas y entradas compatibles a los sensores o actuadores térmicos, de presión y caudal, etc. para el sistema de gestión de calor del hotel. Pudiendo agregar algunos parámetros a controlar en los equipos como son: equipo de osmosis inversa, planta de tratamiento de aguas residuales, la planta de biometanización, bombas hidráulicas y del sistema contra incendio, equipos para piscinas, sistema de riego, alumbrado exterior, equipo chiller para aire acondicionado y sistemas ininterrumpidos de energía (UPS, Por sus siglas en ingles), servidor general, cuarto de comunicaciones, etc.

Si tomamos en cuenta algunas tecnologías actuales de comunicación aplicables a las redes inteligentes, el trabajo de Ahmad Usman y Sajjad Haider Shami [35], es una ventana al tipo de comunicación a la que podemos tener acceso o aplicar para poder realizar el trabajo de intercomunicación en nuestra red.

La manera en que estas correlaciones entre las intercomunicaciones en nuestra micro – red, está ilustrada de manera general en la figura 6.3-1 anterior, pero dependerá de los dispositivos de monitoreo y control, la forma en que se comunicaran con el CC y con los actuadores, que son los que harán las operaciones de conexión-desconexión de las diferentes cargas eléctricas a la fuente de energía correspondiente, según el comportamiento de la demanda en el hotel.

Para Ahmad y Sajad [35], las tecnologías de comunicaciones que han estudiado, se adaptan cada una a diferentes aplicaciones, de las cuales en la tabla 6.3-2, se indican las de mayor relevancia hasta el momento, desde las primeras en aparecer, como son las de comunicación de las líneas de potencia (Power Line Comunication o PLC, por sus siglas en inglés), la cual se basa en la transmisión de datos por medio de los cables eléctricos para lograr una comunicación en dos sentidos de una señal modulada, hasta las que están en investigación y desarrollo, como son las de tecnología inalámbrica para sensores de red que usan la regulación ISO/IEC 18000-7, llama DASH/ Alliance, para operaciones en un ancho de banda de 433 MHz, capaces de atravesar agua y concreto en la intercomunicación. Además de la IEEE 802.15.4 (ZigBee), estándar que especifica la capa física y el control de acceso al medio para redes de área personal inalámbricas de baja velocidad, la cual es popular para los usos de automatizaciones residenciales. También han estudiado la aplicación de la mayormente conocida Wireless LAN (WLAN o WiFi), basada en el estándar IEEE.802.11, con velocidades para interiores de 11Mb y de 1Mb en el exterior, con un ancho de banda de 2,4 GHz, esta soporta la mayoría de protocolos IP y de las aplicaciones que rodean a los dispositivos de energía inteligentes en comunicaciones punto a punto o punto a multipunto. La WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) es una tecnología desarrollada en base al estándar IEEE 802.16 para anchos de banda inalámbricos, esta cuenta con dos bandas de frecuencia, 11-60 GHz y de 2-11 GHz, pudiendo ser combinada con la tecnología WiFi y así obtener una comunicación en un ancho de banda con dirección dual. Y la también conocida, Global System for Mobil (GSM, por sus siglas en inglés), utilizada en los teléfonos celulares a 900 MHz y 1800 MHz y la General Packet Radio Service (GRPS, por sus siglas en inglés), que emplea la transferencia de paquetes de datos sobre un sistema GSM, esto permite funcionar a aplicaciones con tecnologías de red IP en la red GSM, permitiendo una mayor cantidad de flujo de datos, en comparación con solo usar la red GSM.

Tabla 6.3-2. Comparativo de las aplicaciones de las diferentes tecnologías de comunicaciones para redes inteligentes usadas anteriormente, actuales y por desarrollar o mejorar.

Tecnologías de comunicación	Generación		Transmisión			Distribución			Consumidor			
	Generación convencional	Generación con energías renovables distribuidas	Protección y monitores de líneas de transmisión	Monitoreo de aislamiento	Control y monitoreo en la transmisión en corriente alterna flexible	Protección y automatización en subestaciones	Protección y monitoreo en líneas de distribución	Protección y monitores en equipamiento	Control y automatización de hogares	Control y automatización de industrias	Medidores de lecturas automáticos	Conexión de vehículos eléctricos híbridos
PLC	∞	∞	√	√	√	√	√	√	√	√	√	Δ
ZigBee	Δ	Δ	∞	∞	∞	Δ	Δ	Δ	√	√	√	Δ
WiFi	Δ	∞	Δ	∞	Δ	√	∞	√	√	√	√	Δ
WiMAX	Δ	Δ	Δ	∞	∞	Δ	∞	∞	∞	∞	Δ	∞
GSM y GPRS	√	√	√	Δ	√	√	√	√	√	√	√	√
DASH7	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ

∞ = Actualmente no se usa, pudiendo ser desarrolladas las soluciones para esta tecnología.
Δ = Investigación en proceso, algunas soluciones están disponibles hoy en día, pero bajo periodo de pruebas.
√ = Actualmente en uso, alguna de estas soluciones son ya tecnología madura.
Fuente: Ahmad y Sajad, fig. 2. Penetration of Comunication Technologies in Smart Grids, p. 197 [35].

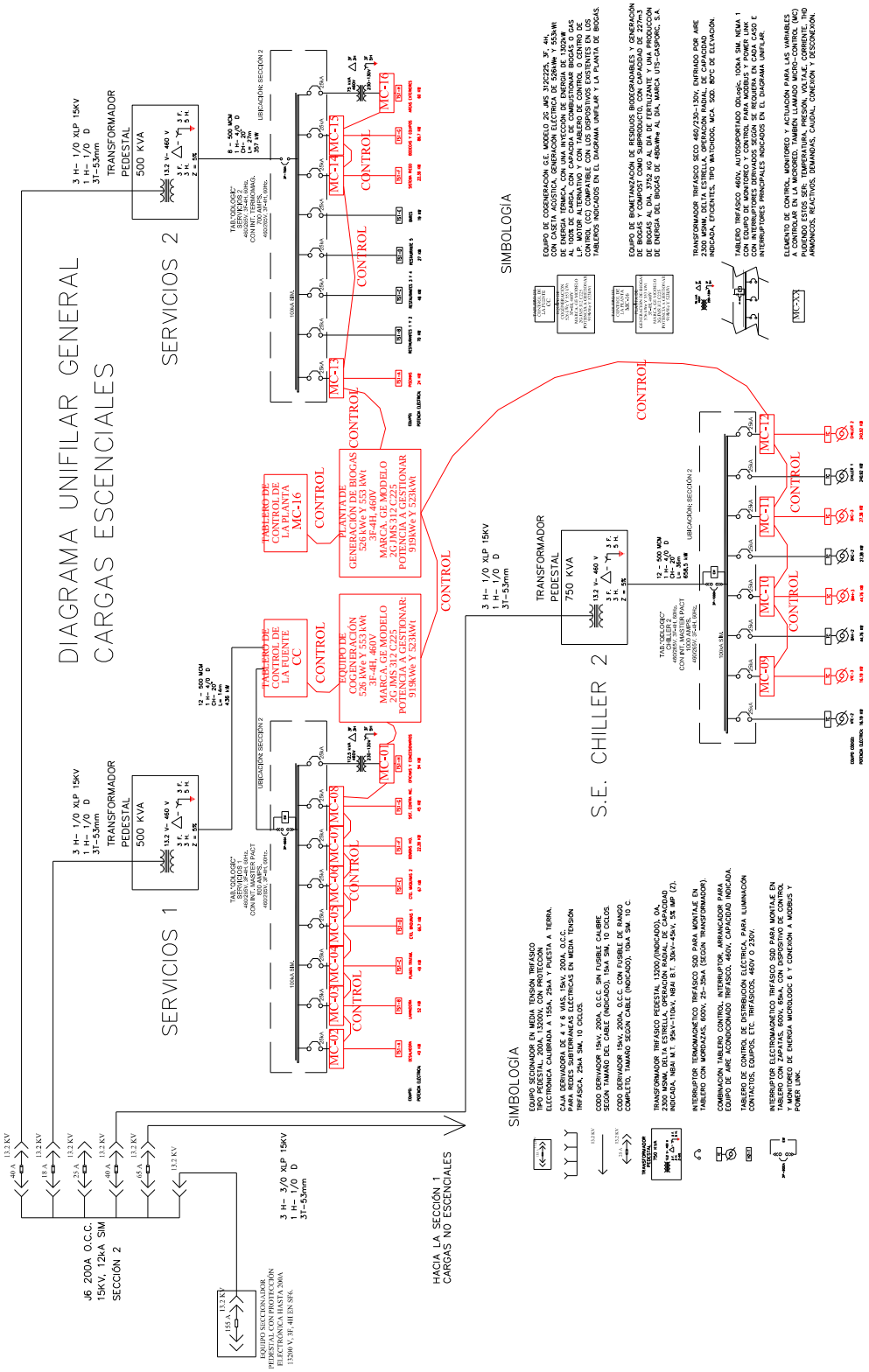
Como conclusión, Ahmad y Sajad [35], distinguen a la tecnología de comunicaciones tipo DASH7, como la tecnología en desarrollo con muchos beneficios por venir en el ámbito comercial, ya que, en el ámbito militar, ha tenido un gran éxito. Por esto, es considerada para llegar a ser la tecnología ideal para las comunicaciones en las redes inteligentes para los consumidores. Mientras tanto, la tecnología de comunicaciones que se usara en este proyecto, dependerá, en gran medida, a la que podamos interconectar entre los diferentes dispositivos de protección y monitoreo que se instalen físicamente en la micro-red del hotel y deberá analizarse según cada fabricante indique sus características y compatibilidades de interconexión a la micro-red.

Como ejemplo de lo anterior, podemos decir que, los tableros eléctricos principales en baja tensión (230-130V o 460-265V) que serán considerados en el hotel, tienen una tecnología de monitoreo, protección y control basada en red de área local o Local Area Network (LAN, por sus siglas en inglés), la marca comercial de estos productos SQD (Square-D), tiene un programa de red de conexión llamado Power Link, el cual utiliza esta red LAN para la interconexión de todos sus dispositivos existentes en una red de baja tensión mediante cables CAT5 entre todos ellos hacia un Modbus o Jbus [36]. Aunque en los equipos más actualizados podemos encontrarnos con una tecnología de comunicación basada en el control de supervisión y adquisición de datos o Supervisory Control And Data Adquisition (SCADA, por sus siglas en inglés) para el manejo de las redes, por lo que para hacer económicamente viable el programa de automatización y control para nuestra red inteligente, debemos de cerciorarnos de la existencia de dispositivos compatibles con cada tecnología, de no ser asi, será necesario implementar un programa de sustitución de piezas o controles (en caso de existir ya en el hotel) para poderlos integrar a la micro-red. Por lo que consideraremos como útil esta tecnología que maneja la marca SQD con su red Modbus y control Power link para organizar nuestra red inteligente ayudados por el sistema SCADA en la integración de la misma.

Los cálculos de ahorro energético y económico, los realizaremos en los capítulos 7 y 8 respectivamente.

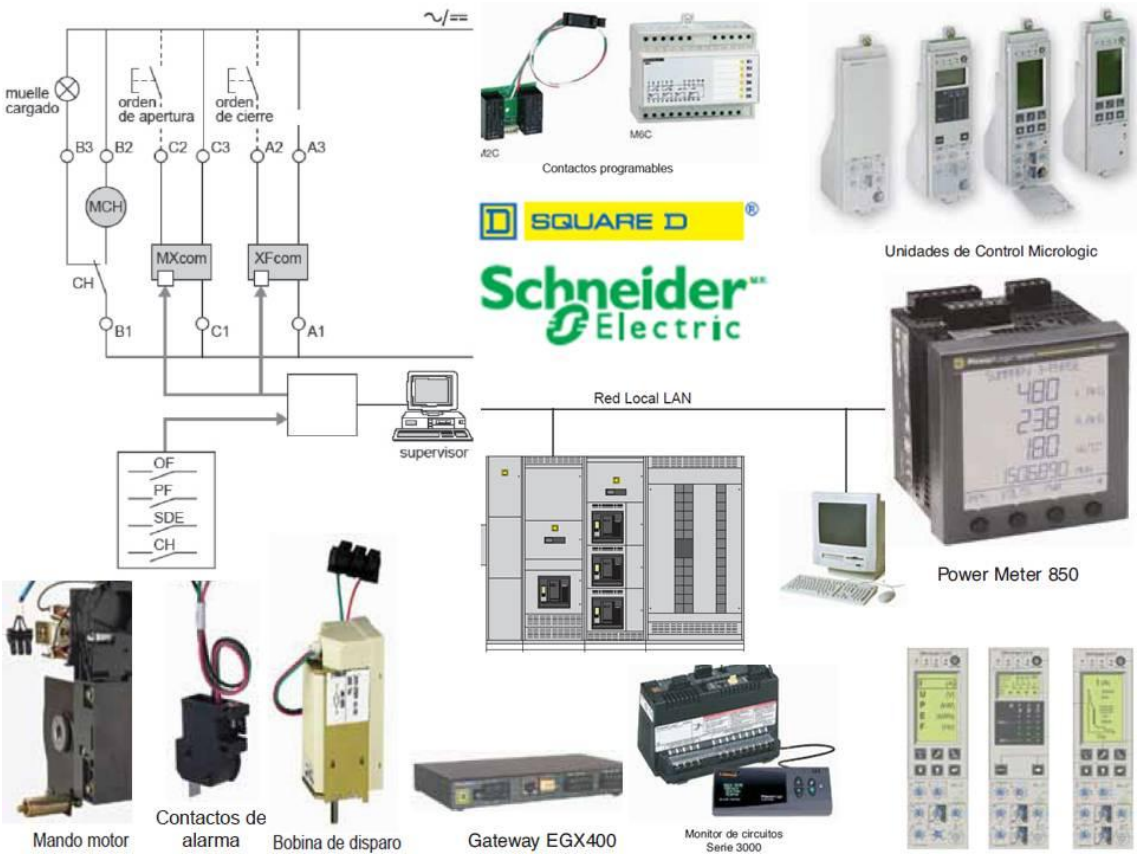
En la figura 6.3-3 siguiente, indicamos en color rojo, la red inteligente que se propone en este proyecto y las cargas eléctricas a las cuales controlará y al mismo tiempo, si éstas tienen alguna relación con el sistema de gestión del calor, ya sea como producción, control o demanda térmica, se incluirán en los dispositivos de control y monitoreo, para que estén consideradas en esta micro-red.

Figura 6.3-3. Red de control y monitoreo, desde el centro de control (CC) a los diferentes micro controles (MC) existentes en el hotel y que gestionarás las demandas eléctricas y térmicas esenciales.



Fuente: elaboración propia, septiembre 2013.

Figura 6.3-4 Elementos de control compatibles con los tableros QDLogic indicados en el diagrama unifilar del hotel.



Fuente: catálogos equipos eléctricos marca SQD (Schneider Electric), septiembre 2013.

7. Balance de energía y ahorros energéticos.

En las tablas 7-1 y 7-2 indicaremos las aportaciones, demandas y consumos energéticos del proyecto en conjunto, para determinar el ahorro energético que tendremos, considerando, la aportación de energía de la planta de biometanización y su autoconsumo, la aportación de energía del equipo de cogeneración y su autoconsumo y la cantidad de energía que consume la caldera de respaldo, así como, la cantidad de G.L.P. que se consume equivalentes en los equipos mencionados anteriormente.

Tabla 7-1. Consumos y aportaciones energéticas anuales de los equipos de biometanización, cogeneración y caldera de respaldo del proyecto.

Equipo	Energía primaria (Residuos orgánicos y lodos residuales)	Producción energía térmica (MWt_{PCI})	Auto-consumo térmico ($MWht_{PCI}$)	Auto-consumo eléctrico (MWhe)	Producción neta de energía térmica (MWht)	Producción de fertilizante orgánico (Ton)	Producción neta de G.L.P. equivalente (Ton)
Planta de biogás	641 Ton	431	87	18	344	889	27

Equipo	Energía primaria (GWt_{PCI})	Producción térmica (GWht)	Producción eléctrica (GWhe)	Pérdidas netas (GWhe)	Eficiencia (η%)	Consumo G.L.P. (Ton)
Equipo de cogeneración	11,4	4,8	4,6	1, 9	83	890,2

Equipo	Energía primaria (GWht)	Producción térmica (GWht)	Pérdidas térmicas (GWht)	Eficiencia (η%)	Consumo de G.L.P. (Ton)
Caldera respaldo al 100%	3,5	3	0,5	85	273,5

Nota: las producciones y consumos se han calculado en base al 100% de su capacidad y con 8 760 horas de funcionamiento al año.
Fuente: elaboración propia, septiembre 2103.

Tabla 7-2. Demandas energéticas anuales del hotel.

	Energía eléctrica (MWh)	Energía térmica (MWht)	Potencia eléctrica máxima (kWe)	Potencia térmica máxima (kWt)	Potencia eléctrica contratada (kWe)	Potencia eléctrica instalada (kWe)
Hotel	10 945	1 687	2 469	523	2 600	2 835

Fuente: elaboración propia, septiembre 2013.

Por último, elaboraremos este análisis desde tres escenarios: a) sin planta de biometanización, ni equipo de cogeneración; b) sin planta de biometanización y con equipo de

cogeneración; y, c) con planta de biometanización y con equipo de cogeneración. Estos resultados son mostrados en la tabla 7-3 siguiente:

Tabla 7-3. Resumen energético anual con tres escenarios del proyecto en el hotel.

Escenarios	[1]Producción eléctrica (GWhe)	Producción térmica (GWht)	Consumo eléctrico de la red (GWhe)	Consumo térmico (GWht)	Consumo G.L.P. (Ton)
a) Sin planta de biogás ni cogeneración	N.A.	N.A.	11	1,7	131,6
b) Sin planta de biogás y con cogeneración	4,5	4,8	6,5	-3,2	890,2
c) Con planta de biogás y con cogeneración	4,5	5,2	6,5	-3,5	863,3

N.A. = No Aplica.
[1] Se limita la producción eléctrica a 500kW, 8 760hr al año, por lo indicado en el capítulo 6, punto 6.1 Cogeneración.
Fuente: elaboración propia, septiembre 2013.

Todos estos datos, los representaremos en un resumen de emisiones de GEI (Solo se indicará la emisión de CO_2):

Tabla 7-4. Resumen de emisiones por fuentes de producción del hotel.

	[2]Factor emisión electricidad promedio Ton CO_2 eq/MWhe	Consumo eléctrico red CFE (MWhe)	[3]Emisión térmica Ton CO_2/año	Emisión eléctrica Ton CO_2/año	Reducción Ton CO_2/año	Total emisiones Ton CO_2/año
Caldera	-	-	383	-	-	383
Electricidad	0,4929	10 945	-	5 395	-	5 395
Cogeneración	-	-	2 591	-	-	2 591
Biogás	-	-	-	-	-626	-626

[2]Factor de emisión eléctrico 2012. Metodología para la estimación del factor de emisión eléctrico para inventarios de emisiones corporativas de GEI para el Programa GEI México. Fuente: www.geimexico.org/factor.html#Margen_operativo_promedio_(MO_promedio)_en_la_metodología_ACM0002_es_el_factor_de_emisión_promedio_de_todas_las_plantas,_incluyendo_plantas_de_menor_costo_de_operación_y_más_utilizadas,_generalmente_se_consideran_las_hidroeléctricas,_geotérmicas,_eólicas,_nuclear,_solar_y_de_biomasa_con_bajo_costo
[3]Emisones térmicas por el consumo de Gas L.P. equivalente a 63100 kg CO_2/TJ. Fuente: Comisión Nacional de Uso Eficiente de la Energía (CONUEE), http://www.conuee.gob.mx/work/files/metod_gei_cons_evit.pdf
Tabla: elaboración propia, septiembre 2013.

8. Balance económico y bonos de carbono.

En el capitulo anterior, llevamos a cabo el análisis energético del proyecto, ahora, realizaremos el análisis económico del mismo, por lo tanto, indicaremos los costos de energía eléctrica y costos de consumos de G.L.P. de los escenarios anteriores, indicados en las tablas 8-1 a 8-4 siguientes:

Tabla 8-1. Costos de la energía eléctrica.

	Costo de energía [1]$/kWh (Julio 2013)			**Costo potencia máxima $/kW (Julio 2013)**
	Base	Intermedia	Punta	Única
Energía eléctrica	0,9754	1,1841	2,0296	181,2
	Costo de energía [2]€/kWh (Julio 2013)			Costo potencia máxima €/kW (Julio 2013)
	Base	Intermedia	Punta	Única
Energía eléctrica	0,0577	0,0701	0,1201	10,7239

[1]$ = pesos mexicanos
[2]€ = euro
http://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/tarifas_negocio.asp?Tarifa=HM&Anio=2013&mes=7
Tipo de cambio del 03 de Julio de 2013: $ 16.8969 fuente: http://www.banxico.org.mx/portal-mercado-cambiario/index.html consultado el 04 de Julio de 2013.
Fuente: elaboración propia, julio 2013.

Tabla 8.2. Costo de la energía anual del hotel (estructura de cobro).

Escenarios	**Energía €**	**Potencia € (Se cobra de manera mensual)**	**Bonificación por medición 2%[3] €**	**Subtotal**	**11% I.V.A. €**	**Total €**	**5% D.A.P.[4] €**	**Gran total €**	**Cantidad de semanas al año**	**Total dinero €**
Semana ocupación al 100%	20 271	6 457	- 405	26 322	2 895	29 218	1 014	30 231	4	120 925
Semana máxima registrada	26 428	5 890	- 529	31 790	3 497	35 287	1 321	36 608	11	402 691
Semana promedio	18 877	4 159	- 378	22 659	2 492	25 151	944	26 095	25	652 377
Semana mínima registrada	15 500	3 233	- 310	18 424	2 027	20 450	775	21 225	13	275 927
[3] Se bonifica por tener medición en media tensión. **[4] D.A.P. = Derecho de Alumbrado Público. Cobrado por el H. Ayuntamiento de Cozumel.** **Costo electricidad comprada a la red pública de CFE: 132,66 €/MWhe**									53	**1 451 919**

Fuente: elaboración propia, julio 2013.

Tabla 8.3 Costo de la energía eléctrica anual aportada por el equipo de cogeneración y que no se comprará a la C.F.E.

Escenarios	Energía €	Potencia € (Se cobra de manera mensual)	Bonificación por medición 2%[5] €	Subtotal	11% I.V.A. €	Total €	5% D.A.P.[6] €	Gran total €	Cantidad de semanas al año	Total dinero €
Semana ocupación al 100%	8 079	1 308	- 162	9 225	1 015	10 240	404	10 644	4	42 576
Semana máxima registrada	8 079	1 308	- 162	9 225	1 015	10 240	404	10 644	11	117 084
Semana promedio	8 079	1 308	- 162	9 225	1 015	10 240	404	10 644	25	266 100
Semana mínima registrada	8 079	1 308	- 162	9 225	1 015	10 240	404	10 644	13	138 372
[5] Se bonifica por tener medición en media tensión. **[6] D.A.P. = Derecho de Alumbrado Público. Cobrado por el H. Ayuntamiento de Cozumel.** **Costo electricidad no comprada a la red pública de CFE: 126,72 €/MWhe**									53	**564 132**

Fuente: elaboración propia, julio 2013.

Tabla 8.4 Emisiones de CO_2, costo de bonos y ahorro total anual.

Escenarios	Sin planta de biogás ni cogeneración	Sin planta de biogás y con cogeneración	Con planta de biogás y con cogeneración
Emisión térmica Ton CO_2/año	383	2 591	2 591
Emisión eléctrica Ton CO_2/año	5 395	3 124	3 124
Reducción emisiones Ton CO_2/año	-	-	626
Total Ton CO_2/año	5 778	5 714	5 088
Diferencia de emisiones de CO_2/año vs actual	-	63	690
Precio Ton CO_2 eq.	7,72 €	7,72 €	7,72 €
Total bonos carbón	- €	489 €	5 323 €

Fuente: elaboración propia, septiembre 2013.

Ahora, llevaremos a cabo el resumen de los costos de la energía anual:

Tabla 8.4. Resumen de costos anuales por energéticos y equipos en el hotel.

Costos	a) Sin planta de biogás ni cogeneración	b) Sin planta de biogás y con cogeneración	c) Con planta de biogás y con cogeneración
Consumos energéticos			
Combustible [7]G.L.P. (0,726 €/kg)	95 497 €	645 885 €	626 387 €
Energía eléctrica red pública C.F.E.	1 451 919 €	887 787 €	887 787 €
Energéticos consumidos	**1 547 417 €**	**1 533 672 €**	**1 514 171 €**
Subproductos energéticos			
Fertilizante orgánico (1,03 €/kg)	-	-	587 938 €
Total energéticos consumidos	**1 547 416 €**	**1 533 672 €**	**926 233 €**
Gastos de servicios, mantenimiento y operación			
Operación y mtto. anual [8](0,011 €/kWhe)	8 162 €	48 972 €	48 972 €
Servicios (anual)	1 670 €	4 261 €	4 261 €
Seguros (anual)	2 206 €	13 231 €	17 200 €
Total gastos Serv. Op. Mtto.	**12 038 €**	**66 464 €**	**70 433 €**
Sobregasto Serv. Op. Mtto. vs actual	**-**	**54 426 €**	**58 395 €**
Total combustible, gastos, OM vs actual	**1 559 454 €**	**1 588 098 €**	**984 628 €**
Diferencia combustible, gastos, OM vs actual	**-**	**28 643 € (no hay ahorro)**	**- 575 028 €**
Bonos de CO_2			
Ahorro anual por bonos de CO_2	-	- 489 €	- 5 323 €
Total de ahorro anual en gastos vs actual	**-**	**-**	**- 580 357 €**
Inversión			
Planta biogás 100kW	-	-	476 260 €
Equipo de cogeneración 526kWe	-	631 100 €	631 100 €
Equipo Electrógeno de respaldo diesel 500kWe	114 498 €	-	-
Equipos de control	5 695 €	69 730 €	79 730 €
Ingeniería	2 242 €	13 450 €	13 450 €
Indirectos	1 121 €	6 725 €	6 725 €
Total inversión	**123 556 €**	**721 005 €**	**1 207 265 €**
Diferencia inversión vs actual (sobreinversión)	**-**	**597 449 €**	**1 083 709 €**
Periodo de retorno (Inversión/Ahorro año)	**-**	**-**	**1,9 años**
Ahorro específico por MWhe producido	-	**0.11 € (No hay ahorro)**	- 130.36 €

[7] http://elinpc.com.mx/precio-gas-lp/ precio de julio de 2013.

[8] Costo indicado en [38] p. 66.

Fuente: elaboración propia, con datos de el Índice Nacional de Precios al Consumidor, consultado el 28 de septiembre de 2013.

N.A. = No Aplica.

Fuente: elaboración propia, septiembre 2013.

9. Análisis DAFO (Debilidades Amenazas Fortalezas Oportunidades).

Debilidades	Amenazas
Alto costo de adquisición de equipos nuevos.	Apatía por las instalaciones de nuevas tecnologías.
Requieren equipo de control especializado para poder maximizar los resultados.	Falta de liquidez económica.
Falta de personal capacitado para su mantenimiento y operación.	Falta de atractivos planes de financiamiento para la adquisición de equipos.
Falta de empresas dedicadas especialmente a esta actividad y presencia en todo el país.	Falta de información y difusión de los beneficios de la tecnología.
El tiempo para lograr la autorización del permiso puede llegar a ser de hasta 16 meses.	A final de cuentas, son los bancos quienes terminan poniendo las condiciones de los créditos y tienen muchas barreras para otorgarlos.
Para poder ser considerado el sistema de cogeneración como "eficiente" no existen suficientes verificadores de estos sistemas y las vigencias de estas certificaciones pueden llegar a ser cortas.	Gran número de permisos en los tres órdenes de gobierno, federal, estatal y municipal, 31 permisos para cogeneración y abastecimiento como permisionario.
Fortalezas	**Oportunidades**
Tecnología madura y probada.	Disminuciones de existencias y reservas de energías primarias.
Disponibilidad de muchos equipos de variada tecnología y fabricantes.	Modificación de legislación para ingreso de particulares en el área de cogeneración.
Tiempo de vida útil largo (hasta 25 años).	Modificación de legislación para integración de estos sistemas al Sistema Eléctrico Nacional (SEN).
Integración con otras tecnologías para aumentar su rendimiento, como son, plantas de generación de biogás, recuperación de cualquier tipo de combustible o calor, redes inteligentes, energías renovables, etc.	Un potencial enorme de cogeneración, más de 10 GW y sin contar con las cargas "chicas" o menores a 1MW.
Probada disminución de emisión de gases contaminantes, tales como CO_2, CH_4, NO_x, etc.	Obtener contraprestaciones energéticas por llevar a cabo una cogeneración eficiente y ser considerada para las mismas contraprestaciones que las energías renovables.
Creación de empleos especializados permanentes en operación, mantenimiento y servicios y temporales en la construcción y puesta en marcha de los equipos.	Para poder ser considerado el sistema de cogeneración como "eficiente" no existen suficientes verificadores de estos sistemas y las vigencias de estas certificaciones pueden llegar a ser cortas.

10. Conclusiones.

1. Los datos considerados en las cantidades de energéticos de consumo, residuos, demandas térmicas y eléctricas, son estimadas, basadas en reportes estadísticos oficiales, documentación bibliográfica de textos y reportes de organizaciones nacionales e internacionales reconocidas, así como, de la experiencia de un servidor en estos 15 años laborando en el ramo energético, para diferentes empresas privadas, entre las cuales se encuentran los hoteles. Así mismo, los costos son de manera orientativa y no reflejan la postura oficial de ninguna de las empresas señaladas en este trabajo.

2. Debido a la gran afectación al medio ambiente y a las fuentes de energías primarias, es prioritario, el buscar medios de ahorros energéticos e implementación de las tecnologías requeridas para ello y deberá ser de manera inmediata.

3. Por la falta de apoyo y los problemas que se presentaron en la recopilación de los datos energéticos para este ensayo, se concluye que falta mucho por hacer en la promoción y difusión de las bondades de la cogeneración y de la gestión sustentable de residuos.

4. El área geográfica en el que está ubicada la isla de Cozumel y la Riviera Maya, pudiera no ser tan atractiva a la inversión de este tipo de tecnología, ya que, existe el riego de afectaciones por huracanes de grandes dimensiones, lo que podría ocasionar daños en los domos de los biodigestores y en las áreas de compostaje, se tendría que buscar alguna solución viable para poder ser afectados lo menos posible por estos fenómenos naturales.

5. También, en el área de tecnologías, el área geográfica indicada anteriormente, cuenta con falta de tecnologías tales como, turbinas y maquinas de absorción de calor, así como, de empresas lo suficientemente capacitadas para dar mantenimiento, reparar o dar servicios a las mismas y esto puede desmotivar al inversor, ya que se requeriría de grandes tiempos de respuesta técnica en caso de falla, ya que tendrían que viajar desde ciudades muy grandes, que están muy alejadas (la más cercana con empresas suficientemente capacitadas es la Ciudad de México y está a 2 horas y media de viaje en avión, de aeropuerto a aeropuerto).

6. La variabilidad de los resultados en la producción de biogás, se debe, a la gran diversidad de sustratos a tratar, de la correcta relación C/N y de las condiciones de los lodos residuales a usar en los biodigestores, además de, las condiciones ambientales de temperatura, pH, alcalinidad, tiempo de retención, mezclado, etc. por lo que su aplicación deberá ser sumamente cuidadosa, para evitar variaciones importantes en la producción de biogás y metano, que las aquí referidas.

7. La intención de incluir en el proyecto una planta de biometanización, es la de gestionar de manera responsable y sustentable los residuos orgánicos, y así evitar la emisión de metano al medio ambiente, sabemos que en la realidad, pocos hoteles tienen la superficie suficiente para ello, pero habrá algunos en los que se pueda hacer algo para incluirlas en los proyectos.

8. La utilización de equipos y dispositivos de control, monitoreo y medición de las variables energéticas de manera automática e inteligente, conlleva a ahorros energéticos y económicos, ya que se pueden programar para mejorar las demandas en horarios punta y responder de mejor manera ante fluctuaciones en la red pública existente, la cual tiene bastantes problemas al tratarse de los finales de la misma a nivel nacional, ver figura 10-1 al final de los anexos, aun cuando se trate de tecnologías nuevas y caras, cada día van disminuyendo sus costos, y más aún, cuando se integran a las implementaciones de nuevas tecnologías que requieren estos tipos de controles para su funcionamiento y optimización de los procesos mismos.

9. Existe un enorme potencial a desarrollar en México y el mundo, este proyecto fue de tan solo 0,000 5 GW y si lo comparamos con lo indicado a continuación, nos damos cuenta que queda mucho por desarrollar:
    a. México, actuales (2012) 3,6 GW [30], potencial a desarrollar de 10 GW [41].
    b. España, actuales (2009) 6,2 GW, potencial a desarrollar de 12,25 GW a 2020 [42].
    c. Alemania, actuales (2010) 20 GW [42].
    d. Estados Unidos, actuales (2009) 82 GW, potencial a desarrollar de 170 GW a 2020 [39].
    e. Mundial, potencial a desarrollar de 330 GW [39].

10. Si consideramos que tuvimos un ahorro en el consumo de combustible de 77 euros en el segundo escenario de análisis (b) y 185 euros en el tercer escenario de análisis (c), ambos por cada habitación en un promedio de ocupación anual de 181 habitaciones, podemos estimar que, de las casi 59 millones de habitaciones que en el 2011 estuvieron ocupadas en hoteles de categoría a partir de 4 estrellas [12], que son los que podrían invertir en equipos de cogeneración, y siguiendo la pauta de un escenario medio considerado por la CONUEE y el GTZ [40], entonces, aproximadamente el 60% de éstas habitaciones podrían tomarse como real potencial a desarrollar en cogeneración, y tener expectativas de ahorro de cantidades sumamente importantes de consumos de energías primarias anualmente, de 2700 a 6600 millones de euros.

11. Considerando solo la instalación de la cogeneración, ahorramos en energía primaria, únicamente, ya que, con los gastos anuales de mantenimiento, servicios y seguros, dejamos de ahorrar, pero si se puede integrar al sistema, una planta de biometanización de residuos orgánicos, entonces sí que existen ahorros anuales, siempre y cuando se pueda comercializar el excedente de fertilizante orgánico producido, después de descontar los utilizados en las áreas verdes del hotel.

12. Deberán ser muy coordinados los servicios de mantenimiento programados para mantener la relación, producción-consumo-economía adecuada, ya que se tienen que realizar diversos mantenimientos cada 15 días, trimestrales, anuales, bianuales y el servicio mayor u “Overhaul”, aproximadamente cada 7 años.

13. La volatilidad de los precios de los hidrocarburos pueden hacer que en el corto plazo la relación precio-producción se modifique sustancialmente y pueda variar la percepción del

ahorro en costo del GLP, mientras que aumente la incorporación de las energías renovables a la red eléctrica pública y la energía eléctrica sea más barata que lo que es ahora, aunque esto pueda que no suceda en el corto plazo, ya que analizando los informes anuales de 2010 y 2012 de la C.F.E. [43] podemos notar que la aportación de las renovables en la red nacional de energía ha disminuido de 42 687 GWh en el 2010 a 36 498 GWh en 2012, en donde ya aparece la fotovoltaica y el rendimiento de producción global a disminuido de 36,87% al 36,61% en el 2012, esto debido al aumento de las pérdidas por conversión [43].

BIBLIOGRAFÍA.

[1] Mariano Seoanez Calvo. Ecología Industrial: Ingeniería medioambiental aplicada a la industria y a la empresa. pp. 17-18, 26-52, 2005.

[2] Esteban Fernández Sánchez, Beatriz Junquera Cimadevilla, Jesús Ángel del Brío González. Iniciación a los negocios para ingenieros, p. 3, 2008.

[3] Aurelio Abacens y José María Lasheras. Organización Industrial, Volumen I, pp 21-30, 1986.

[4] Antonio M. de Beas. Organización y Administración de Empresas, pp. 2-89, 1993.

[5] Todd M. Johnson, Claudio Alatorre, Zayra Romo y Feng Liu. México: estudio sobre la disminución de emisiones de carbono, Banco Mundial, p. 15, 2009.

[6] Carles Gracia. CREAF (*Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals*). Departament d' Ecologia, Universitat de Barcelona. L'origen de la biomassa: limitacions naturals de la fotosíntesi. Master en Energías Renovables. Tema 6, p.4, 2012.

[7] Shell, Escenarios energéticos Shell en 2050, p. 9, 2008.

[8] Rodrigo Ramírez-Pisco. Estalvi - eficiència i us racional de l'energia. Master en Energías Renovables. Universidad Politécnica de Cataluña. Introducción, p. 28, 2011.

[9] EIA (Energy Information Administration). Estados Unidos de América. www.eia.gov Abril, 2013.

[10] Luis Batet Miracle. Recursos energéticos. Master en Energías Renovables. Universidad Politécnica de Cataluña. Sesión 1, diapositiva 86, 2011.

[11] Oberv'ER. The state of renewable energies in Europe, 12th EurObserv'ER report, p. 55, 2012.

[12] INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). México. www.inegi.gob.mx Abril, 2013.

[13] British Petroleum (BP). BP Statistical Review of World Energy, June 2012. www.bp.com/statisticalreview Junio, 2012.

[14] CONUEE (Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía), www.conuee.gob.mx Marzo, 2013.

[15] Pilar Ramírez de la Piscina Millan y Josep Ma. Chimenos Ribera. Biogás, Biodiesel y Bioetanol. Master en Energías Renovables. Dpt. Química Inorgànica y Dpt. Ciència dels Materials i Enginyeria Metal·lúrgica de la Universidad de Barcelona. Parte 1, diapositiva 18, parte 2, diapositivas 2-21, 2011-2012.

[16] Xavier Flotats y Laia Sarquella. GIRO Centre Tecnològic e ICAEN respectivamente. Producció de biogás per codigestió anaeròbia. Col·lecció Quadern Pràctic Número 1. Institut Català d'Energia. Generalitat de Catalunya. Julio 2008 pp. 23-27.

[17] Beatrix Rózsáné Szűcs, Miklós Simon and György Füleky. Eötvös József College. Szent István University, Hungary. Co-Digestion of Organic Waste and Sewage Sludge by Dry Batch Anaerobic Treatment. Capítulo 6, pp. 99-100, 2012.

[18] Joan Mata-Álvarez. Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Barcelona. Anaerobic digestión bioconcepts. EPROBIO COURSE, 3rd Edition, 2012, diapositivas 13-50.

[19] Programa Estatal para la Prevención y Gestión Integral de Residuos del Estado de Quintana Roo, México. 2009-2013. Gobierno de Quintana Roo. Secretaría de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente (SEDUMA), cuadro 5 y 6, pp. 19-31

[20] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) e Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). México. Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. P. 10, 2012.

[21] Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA). Emisiones atmosféricas de las centrales eléctricas en América del Norte, Octubre 2011. Dato ampliado de internet en: www.cec.org/centraleselectricas Junio 2012. Pp. 18,

[22] Ahmad Usman y Sajjad Haider Shami. Evolution of Communication Technologies for Smart Grid applications. P. 191, Marzo 2012.

[23] DURMAN. Especificaciones de las trampas de grasas para restaurantes y locales de comida ENDURA de DURMAN. Versión 0.0, pp. 1-6, Mayo 2009.

[24] VIKING. Aprovechar el ciclo de la naturaleza – Ventajas del triturado. Especificaciones de las bio trituradoras. Andreas STIHL, S.A. p. 4, 2010.

[25] George Tchobanoglous, Hilary Theisen y Samuel A. Vigil. Gestión integral de residuos sólidos. Traducción de Juan Ignacio Tejero Monzón, José Luis Gil Díaz y Marcel Szanto Narea. Capítulos 3 y 4, 1996.

[26] Metcalf-Eddy. Wastewater Engineering: Collection, Treatment, Disposal. Tratamiento y depuración de las aguas residuales. Traducido por Juan de Dios Trillo Monsoriu y Luis Virto Albert. Capítulos 2 y 13. 1977.

[27] Beatrix Rózsáné Szűcs, Miklós Simon and György Füleky (2012). Co-Digestion of Organic Waste and Sewage Sludge by Dry Batch Anaerobic Treatment, Management of Organic Waste, Dr. Sunil Kumar (Ed.), ISBN: 978-953-307-925-7, InTech, Available from:

http://www.intechopen.com/books/management-of-organicwaste/biogas-production-by-dry-batch-anaerobic-co-digestion-of-organic-waste-and-sewage-sludge p. 101.

[28] Guía técnica de agua caliente sanitaria central. Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR) e Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDEA), España. ISBN: 978-84-96680-52-4. Madrid, junio de 2010. P. 72.

[29] DATATUR. Estadísticas del Sistema Nacional de Información Estadística del Sector Turismo de México-DATATUR, con base en información generada a través del programa de monitoreo de la ocupación en servicios turísticos de hospedaje en México. http://datatur.sectur.gob.mx/

[30] Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) / Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo de Alemania. Guía práctica de trámites y permisos para proyectos de cogeneración de energía eléctrica en México. México, D.F. Noviembre 2012. Pp 3-30

[31] UNAM, Universidad Nacional Autónoma de México. Programa de Monitoreo de Aguas Subterráneas de la Caleta de Xel-Ha y sus alrededores, Estado de Quintana Roo. México, D.F. abril 2005, tabla 1, p. 16.

[32] Dr C. R. Bayliss CEng FIET y B. J. Hardy CEng FIET. Transmission and Distribution Electrical Engineering. ISBN: 978-0-08-096912-1. Fourth edition 2012. Capitluo 27, pp. 1059-1074.

[33] Instituto de Investigación Tecnológica de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI) y la Universidad Pontificia Comillas. 1ª edición, 2011, pp. 40-42.

[34] S. Chowdhury, S.P. Chowdhury y P. Crossley. Microgrids and Active Distribution Netwoks. The Institution of Engineering and Technology, 2009, pp. 6-13.

[35] Ahmad Usman y Sajjad Haider Shami. Evolution of comunication Technologies for Smart Grid Application. Renewable and Sustainable Energy Reviews 19 (2013), pp. 191-199.

[36] SQD (Square-D). Distriucion en baja tensión QDLogic. Catalogo Tecnico-Comercial. Schneider Electric, S.A. Francia, enero 2006, pp. 6-34.

[37] International Tourism Partnership. El camino verde, Estándares mínimos de un hotel sostenible, página web: www.tourismpartnership.org Londres, consultado en septiembre 2013, pp. 2-3.

[38] Comisión Nacional de Ahorro de Energía (CONAE) ahora Comisión Nacional del Uso Eficiente de la Energía (CONUEE). Eficiencia energética en sistemas industriales. Metodología para el análisis de pre-viabilidad en los sistemas de cogeneración. Julio 1999, p. 66.

[39] State and Local Energy Efficiency Action Network. 2013. *Guide to the Successful Implementation of State Combined Heat and Power Policies*. Prepared by B. Hedman, A. Hampson, J. Rackley, E. Wong, ICF International; L. Schwartz and D. Lamont, Regulatory Assistance Project; T. Woolf, Synapse Energy Economics; J. Selecky, Brubaker & Associates. Marzo 2013.

[40] Comisión Nacional del Uso Eficiente de la Energía y el Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo de Alemania (GTZ) Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit. Estudio sobre cogeneración en el sector industrial en México. Diciembre 2009, p. 13.

[41] Comisión Reguladora de Energía y el Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo de Alemania (GTZ) Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit. Guía Fácil del Marco Normativo de la Cogeneración. México, Abril 2013, p. 11.

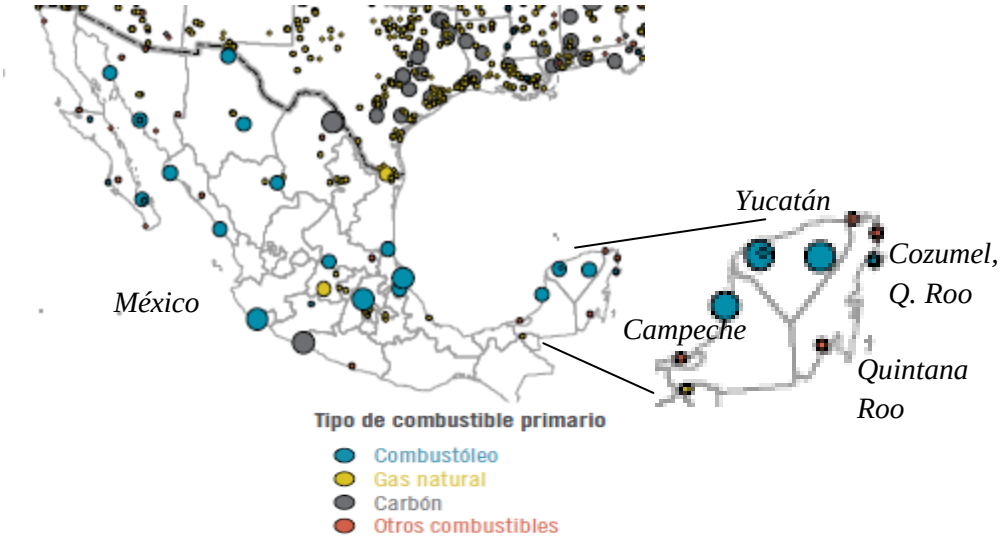
[42] Consejería de Economía y Hacienda, Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid, Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid. Guía de la cogeneración. Madrid 2010, pp. 11, 18, 23.

[43] Comisión Federal de Electricidad. Informes anuales 2010 y 2012. http://www.cfe.gob.mx/ConoceCFE/1_AcercadeCFE/Lists/Publicaciones%20Informes%20Anuales/Attachments/10/Informe2012CFE.pdf?Mobile=1 consultado en septiembre 2013.

12. ANEXOS.

12.1 Figuras.

Figura 1-1. Tipo de combustible utilizado en la generación de energía eléctrica en la zona de la Península de Yucatán: Yucatán, Campeche y Quintana Roo.

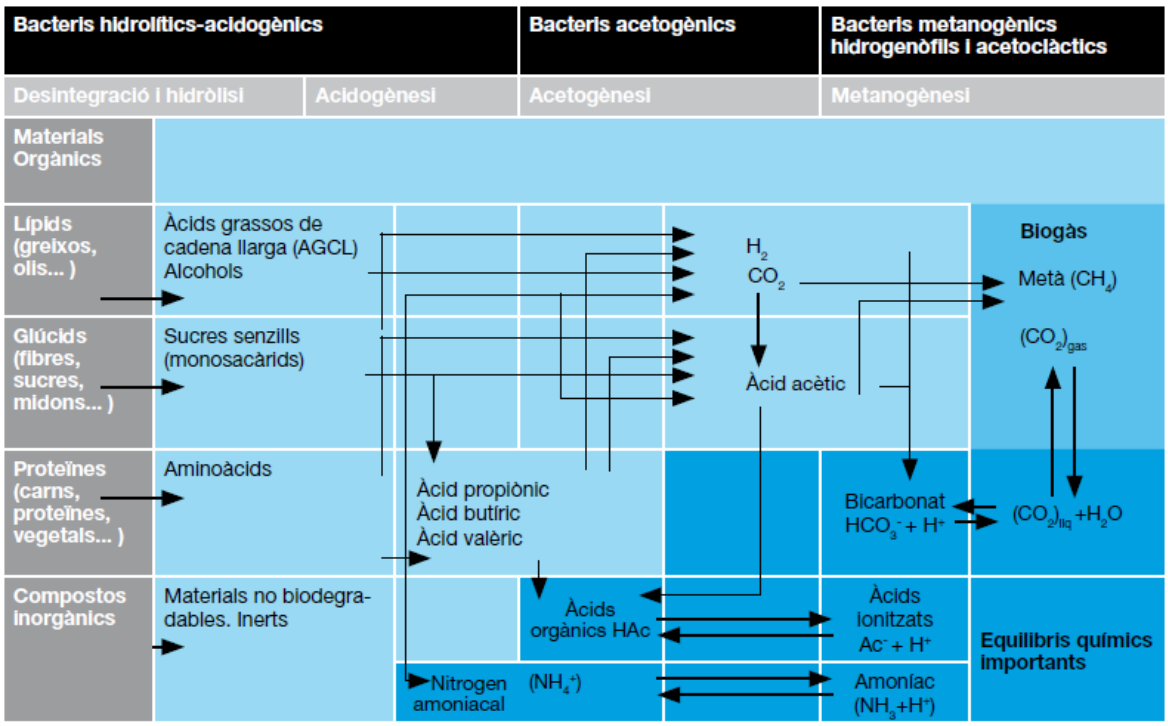


Fuente: Comisión para la Cooperación ambiental (CEC). Octubre 2011 [21].

Figura 5-1. Ubicación geográfica de la zona de la Península de Yucatán, Quintana Roo, Cozumel, Riviera Maya y mar Caribe.

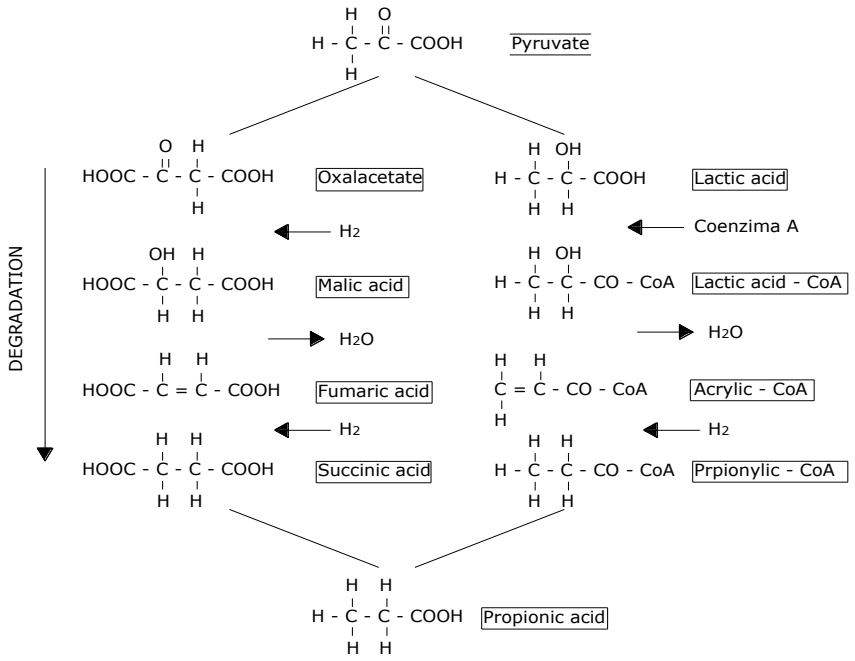
Fuente: http://hotpot.se/maps-caribbean-atlantic_ocean.htm Septiembre 2013, adaptado.

Figura 6.2-1. Dinámica de proceso de fermentación anaeróbica y equilibrio químico más relevante de la materia orgánica.



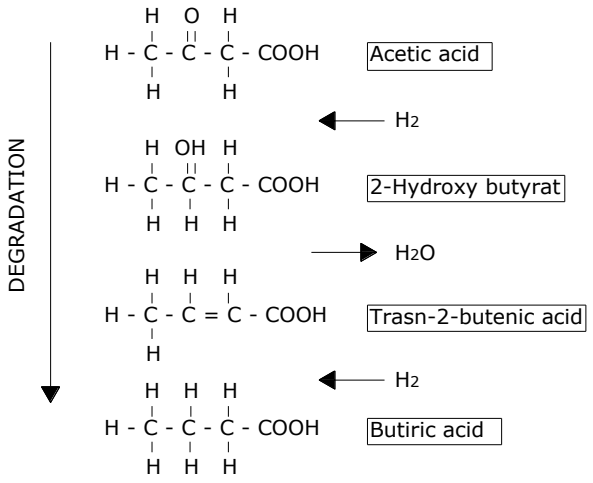
Fuente: Xavier Flotats y Laia Sarquella, 2008 p. 23 [16].

Figura 6.2-2. Reacciones en la etapa de la Hidrólisis.



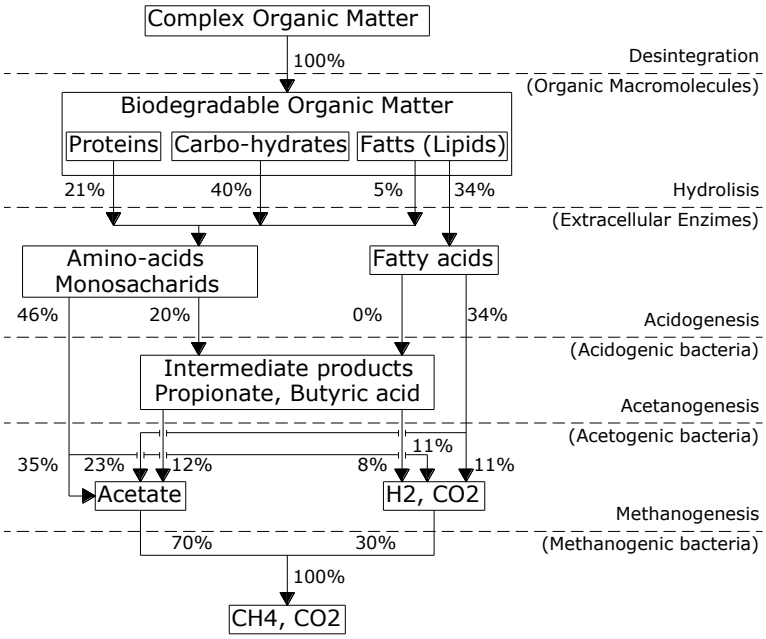
Fuente: D. Deublein and A. Steinhauser. Biogas from Waste and Renewables Resources. Wiely-VCH, indicado por Ramírez y Chimenos, 2011-2012, parte 2 diapositiva 5 [15] adaptado.

Figura 6.2-3. Reacciones en la etapa de la Acidogénesis.



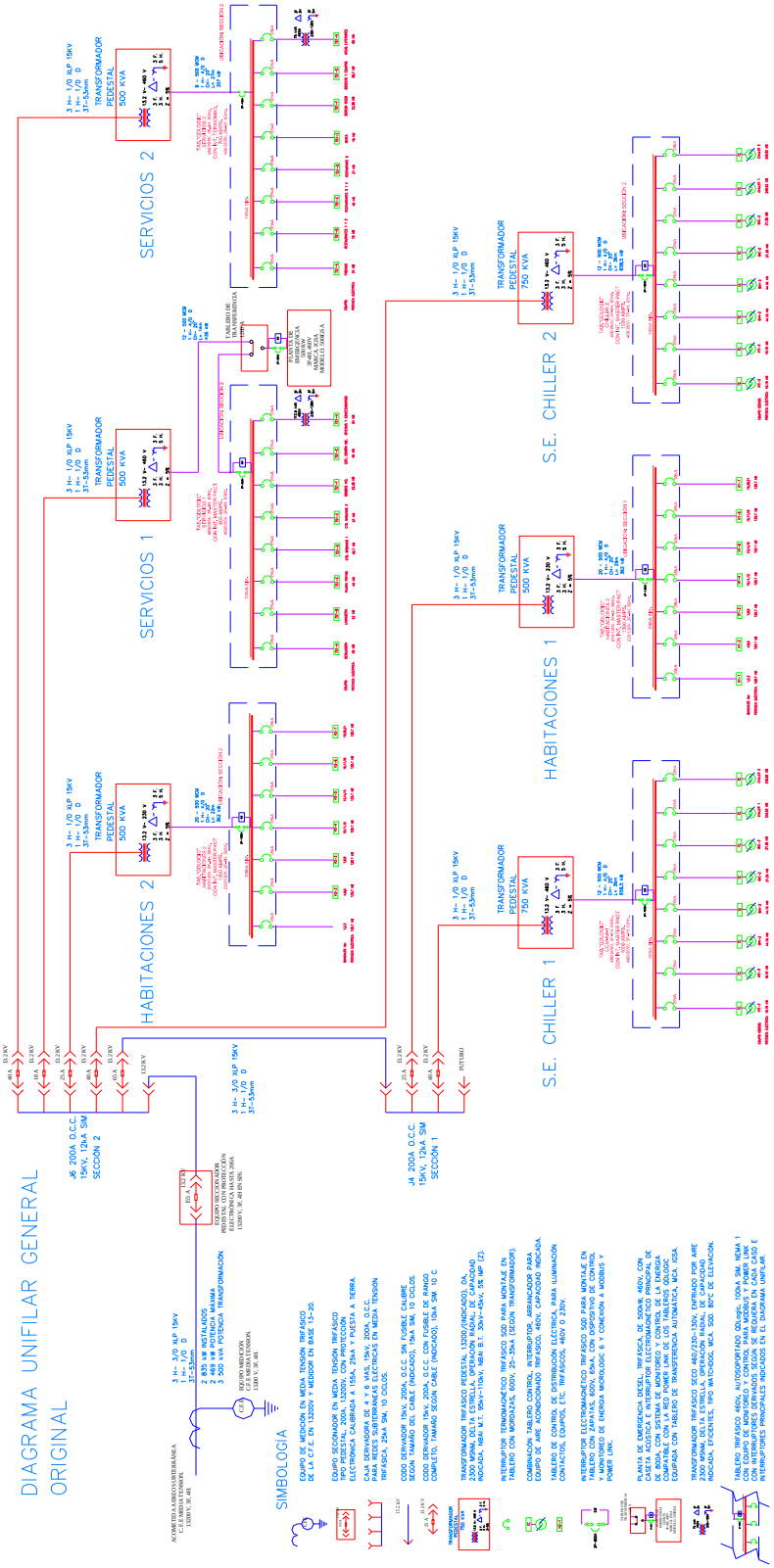
Fuente: D. Deublein and A. Steinhauser. Biogas from Waste and Renewables Resources. Wiely-VCH, indicado por Ramírez y Chimenos, 2011-2012, parte 2 diapositiva 6 [15] adaptado.

Figura 6.2-4. Etapas de la biodegradación de la materia anaeróbicamente, estequiometria y presencia de bacterias en todas las etapas.



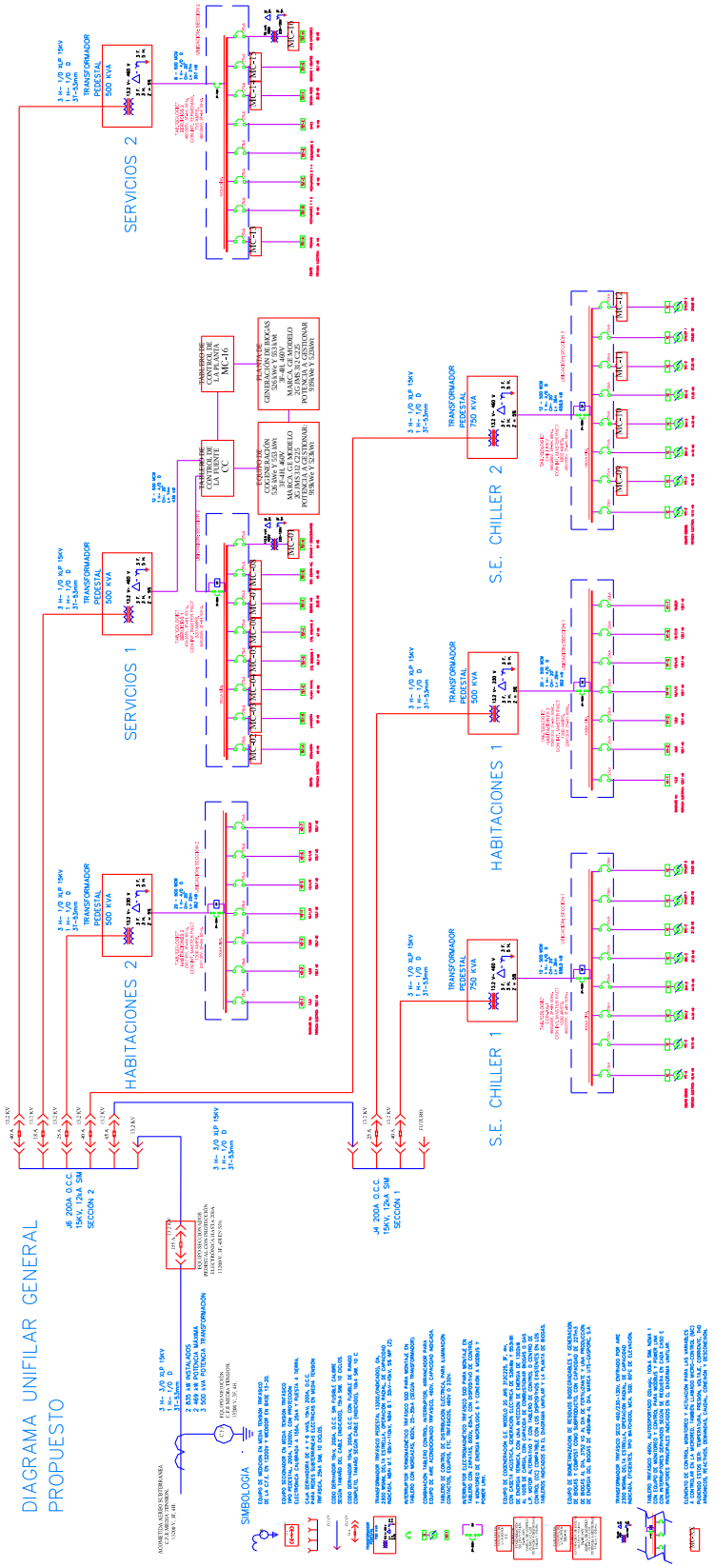
Fuente: Szűcs, Simon and Füleky 2012 [17]. Ramírez y Chimenos, 2011-2012, parte 2 diapositiva 12 [15] adaptado.

Figura 6.3-1. Diagrama unifilar general del hotel original.



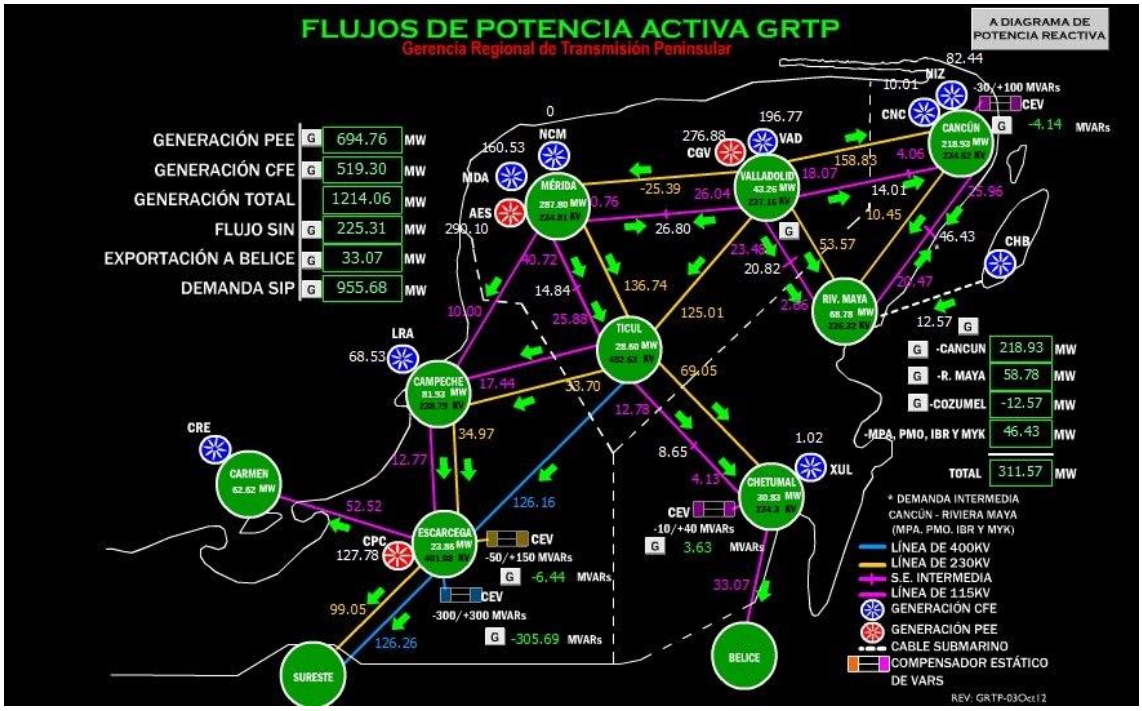
Fuente: elaboración propia, junio 2013.

Figura 6.3-2. Diagrama unifilar general del hotel propuesto con cogeneración.



Fuente: elaboración propia, junio 2013.

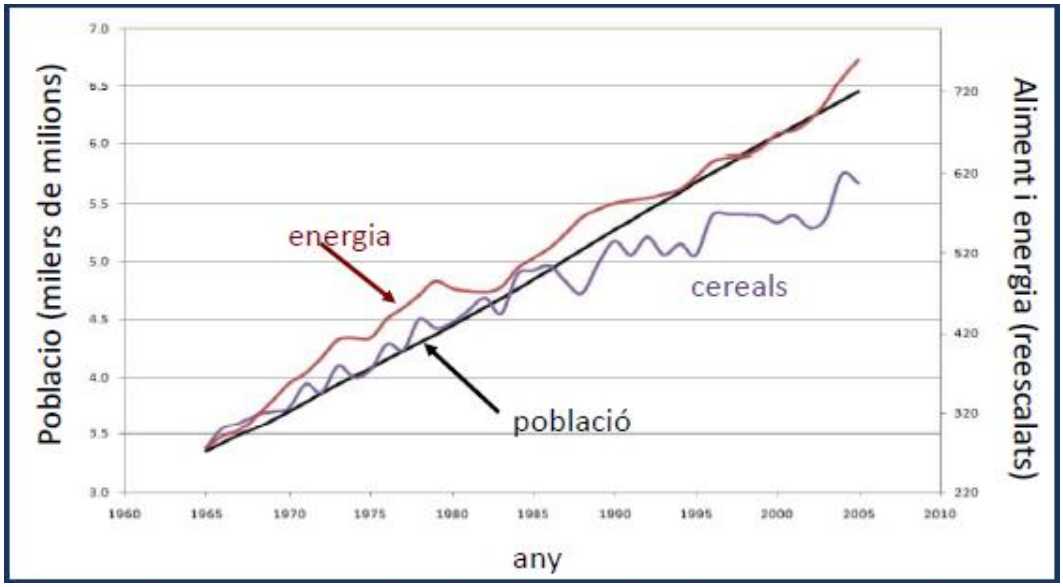
Figura 10-1. Flujos de energía en la red eléctrica pública en al Península de Yucatán, México.



Fuente: CFE, www.cfe.gob.mx 2010.

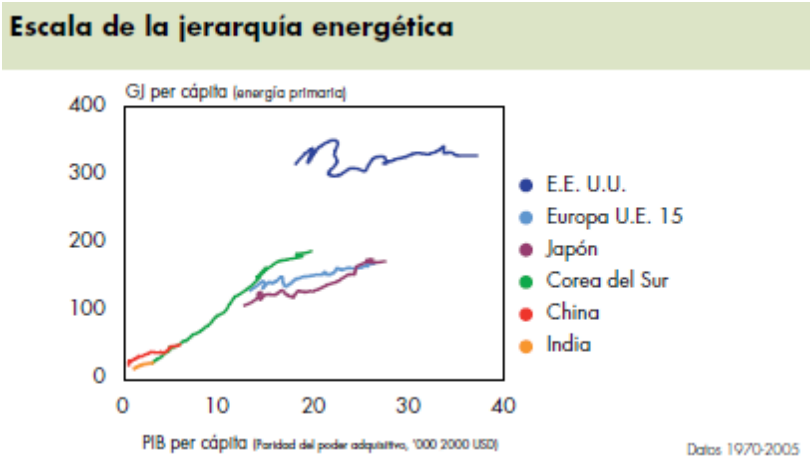
12.2 Gráficas.

Gráfica 1-2. Aumento de la población mundial, de 1960-2005.



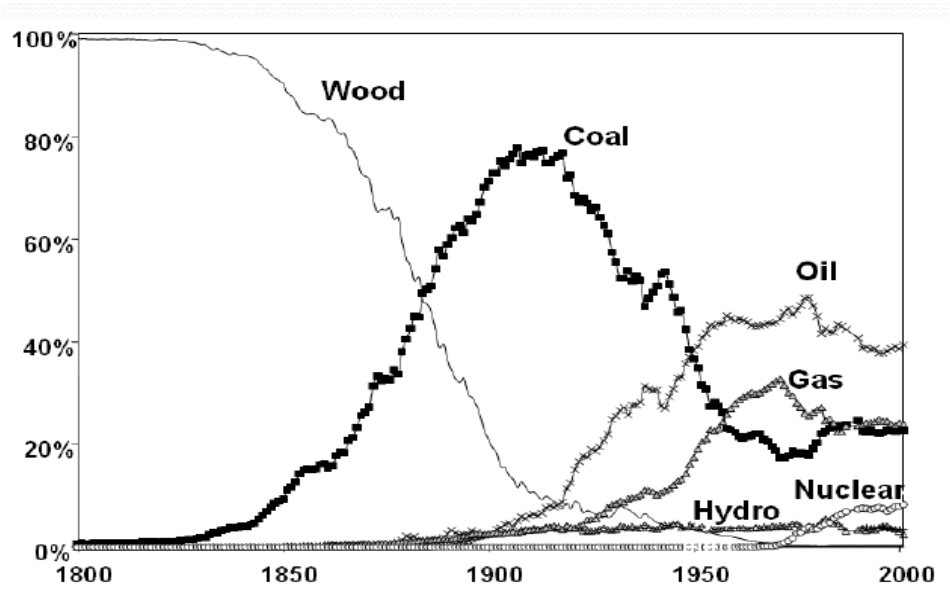
Fuente: Carles Gracia, tema 6, p. 4, 2012 [6].

Gráfica 1-3. Aumento de requerimiento de energía conforme aumenta la riqueza y bienestar de la población, de 1970-2005.



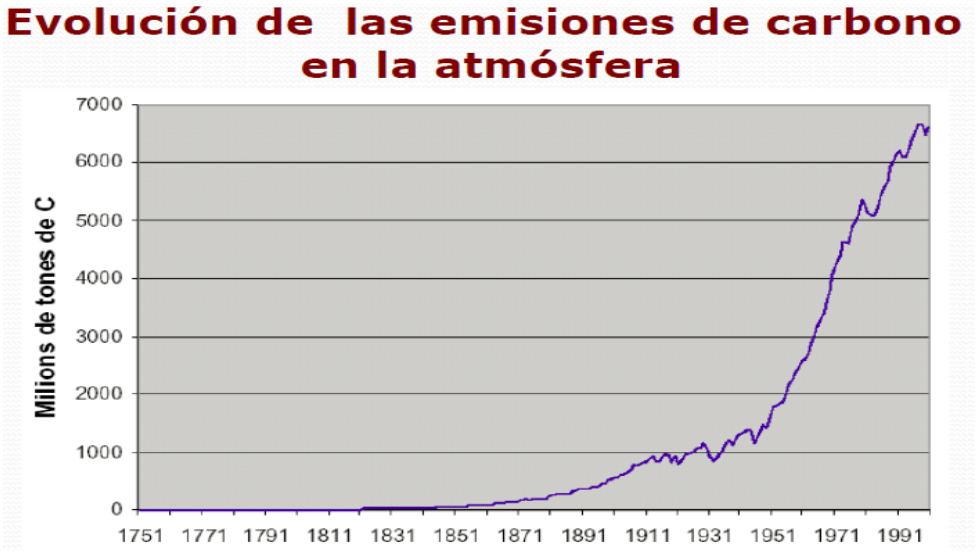
Fuente: Shell, p. 9, 2008, [7].

Gráfica 1-4. Consumos energéticos de 1800 a 2000.



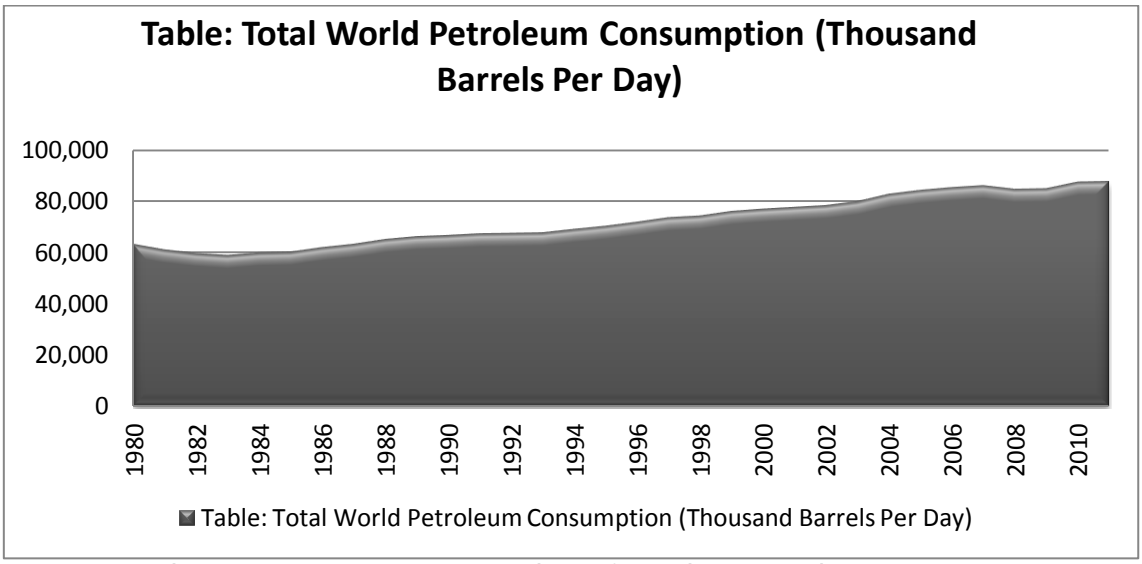
Fuente: Pisco, p. 26, 2011, [8].

Gráfica 1-5. Aumento de emisiones de carbono a la atmosfera desde 1751.



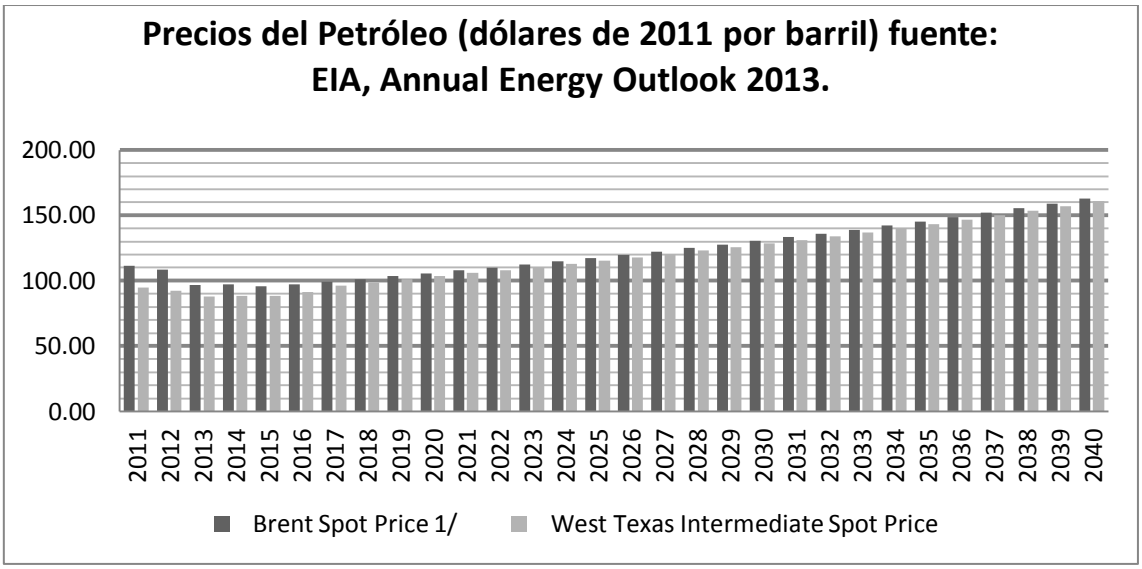
Fuente: Pisco, p. 28, 2011, [8].

Gráfica 1-6. Consumo total mundial de petróleo desde 1980 a 2011.



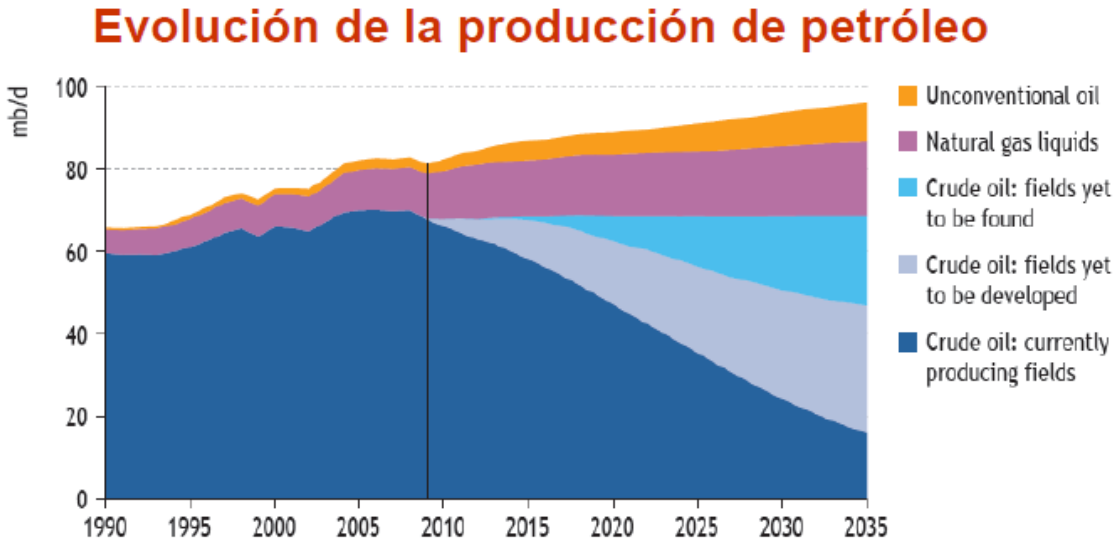
Fuente: elaboración propia con datos de la administración de información de la energía de los Estados Unidos (EIA, Energy Information Administration), www.eia.gov Abril 2013 [9].

Gráfica 1-7. Proyección de costos del petróleo de 2010 a 2040.



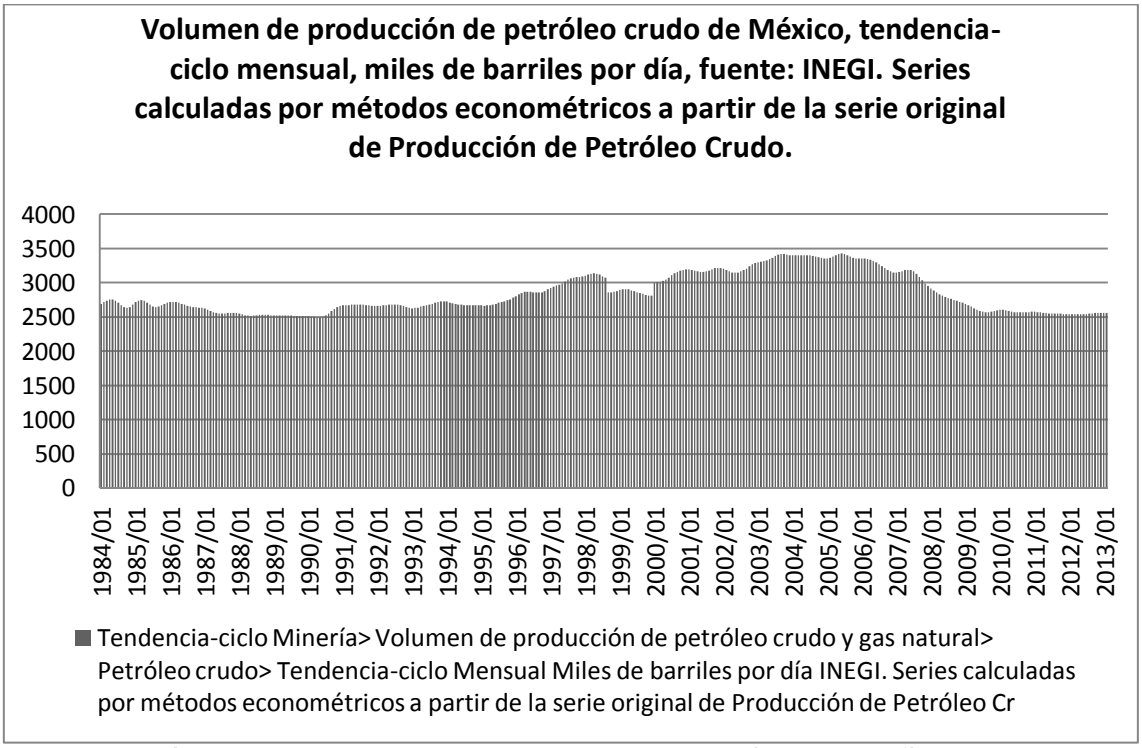
Fuente: elaboración propia con datos de la administración de información de la energía de los Estados Unidos (EIA, Energy Information Administration), www.eia.gov Abril 2013 [9].

Gráfica 1-8. Disminución de los campos de producción actual de petróleo convencional y aumento del petróleo no convencional, así como de los campos de petróleo a desarrollar a 2035.



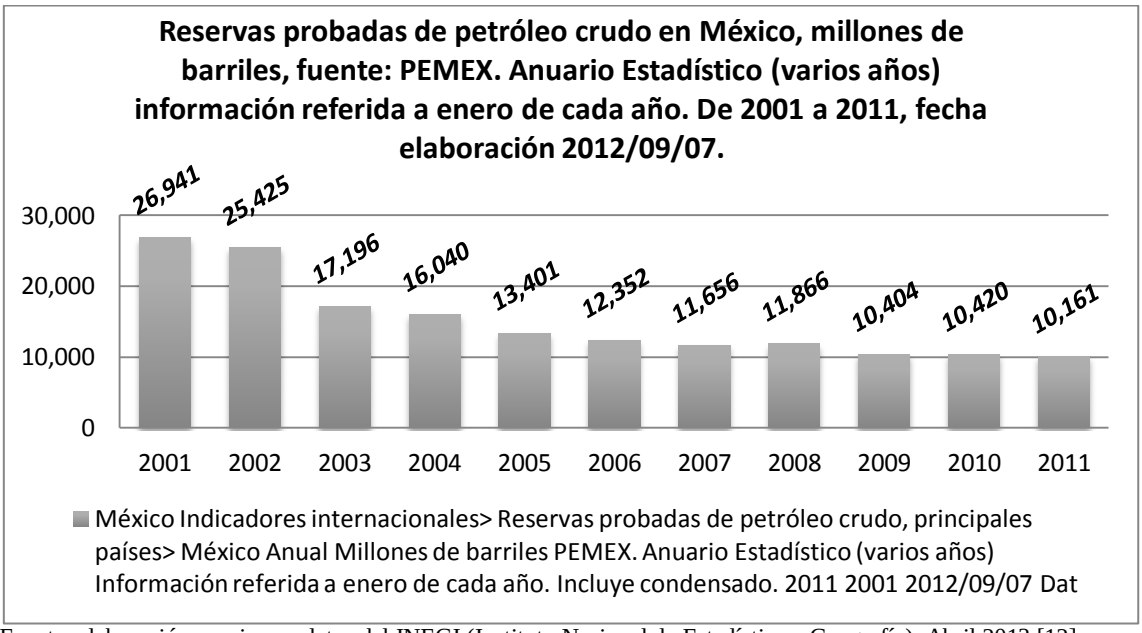
Fuente: Batet, diapositiva 86, 2011, [10].

Gráfica 1-10. Producción de petróleo en México.



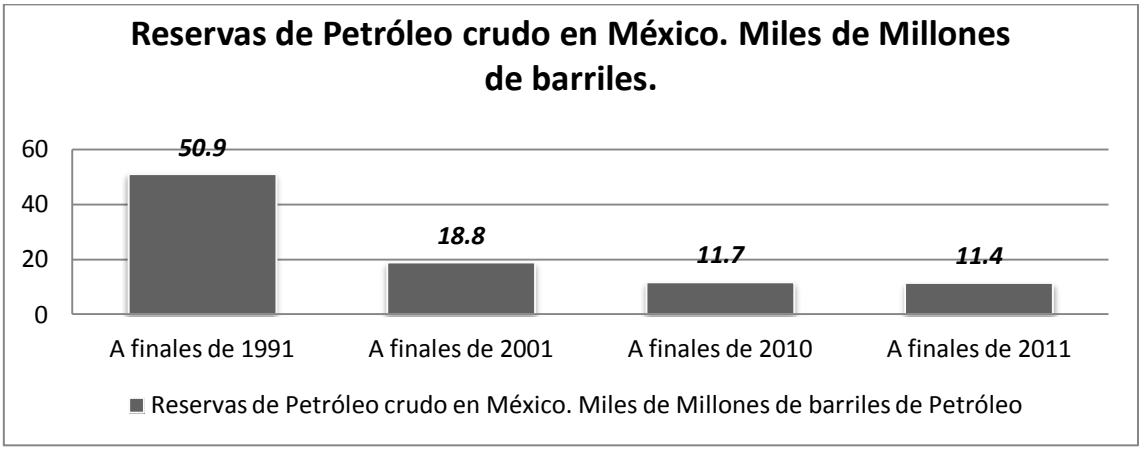
Fuente: elaboración propia con datos del INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). Sistema de cuentas económicas y ecológicas. Abril 2013 [12].

Gráfica 1-11. Reservas probadas de petróleo crudo en México.



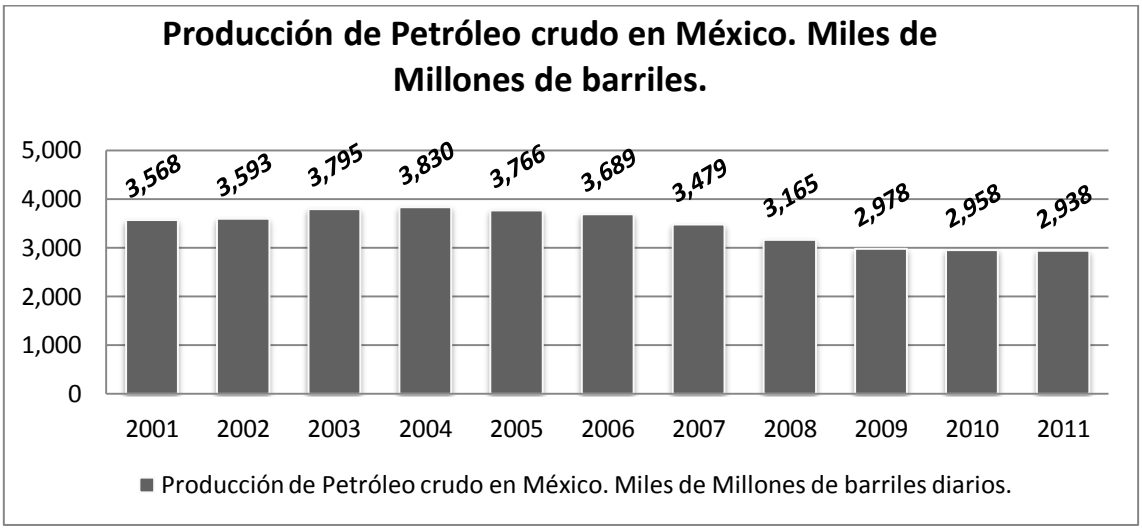
Fuente: elaboración propia con datos del INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). Abril 2013 [12].

Gráfica 1-12. Reservas probadas de petróleo crudo en México, según reporte de la BP.



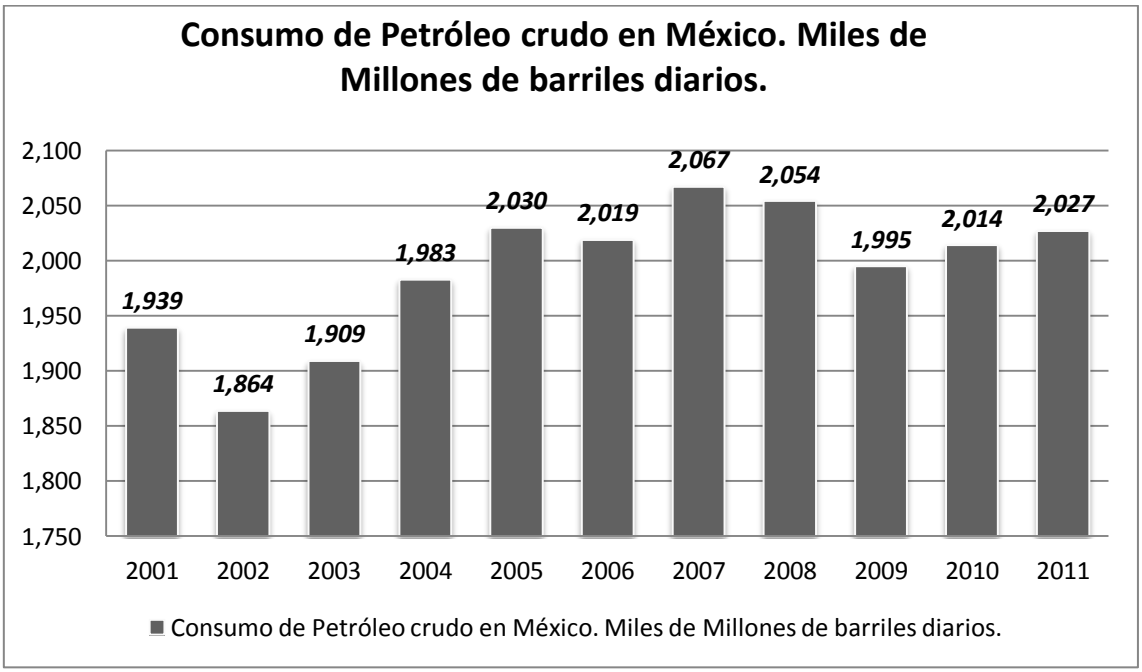
Fuente: elaboración propia con datos de BP de junio 2012. Mayo 2013 [13].

Gráfica 1-13. Producción de petróleo crudo en México, según reporte de la BP.



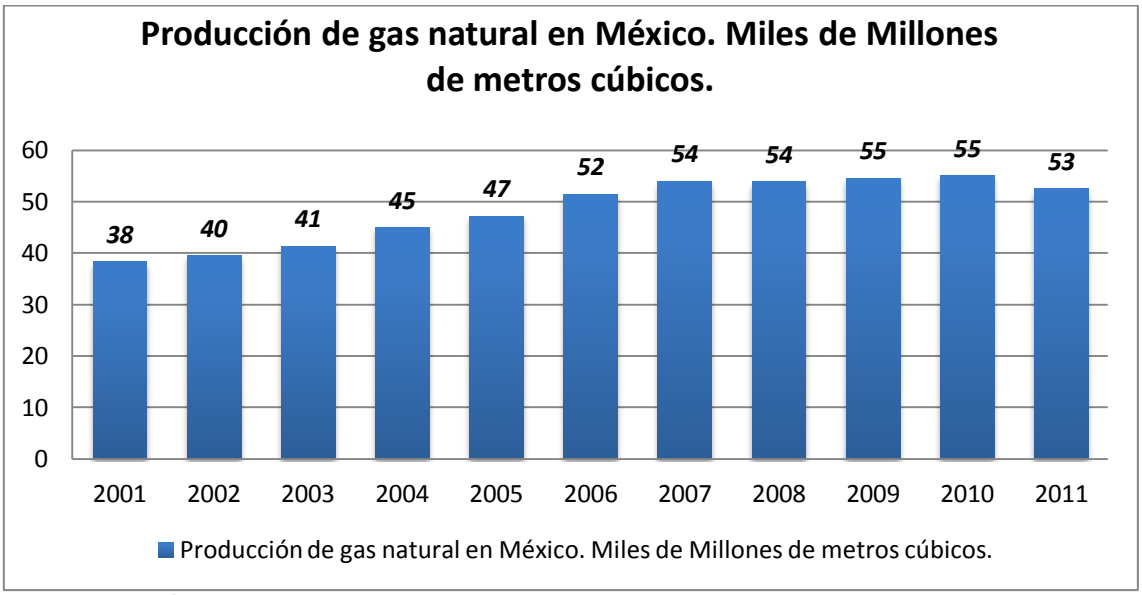
Fuente: elaboración propia con datos de BP de junio 2012. Mayo 2013 [13].

Gráfica 1-14. Consumo de petróleo crudo en México, según reporte de la BP.



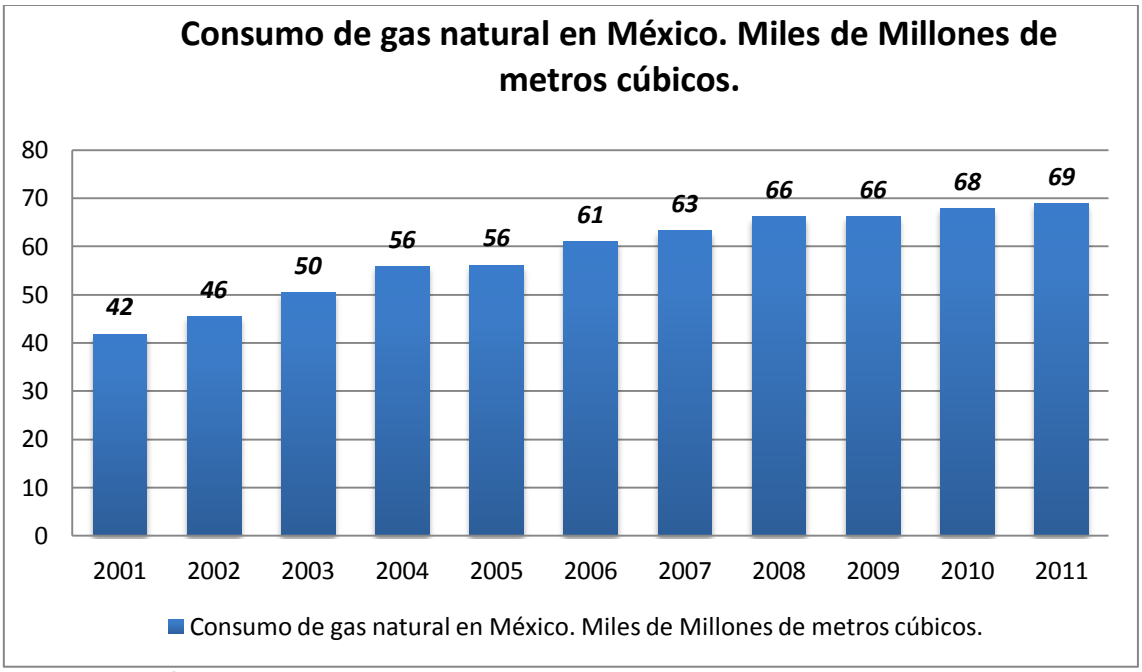
Fuente: elaboración propia con datos de BP de junio 2012. Mayo 2013 [13].

Gráfica 1-16. Producción de gas natural en México, según reporte de la BP.



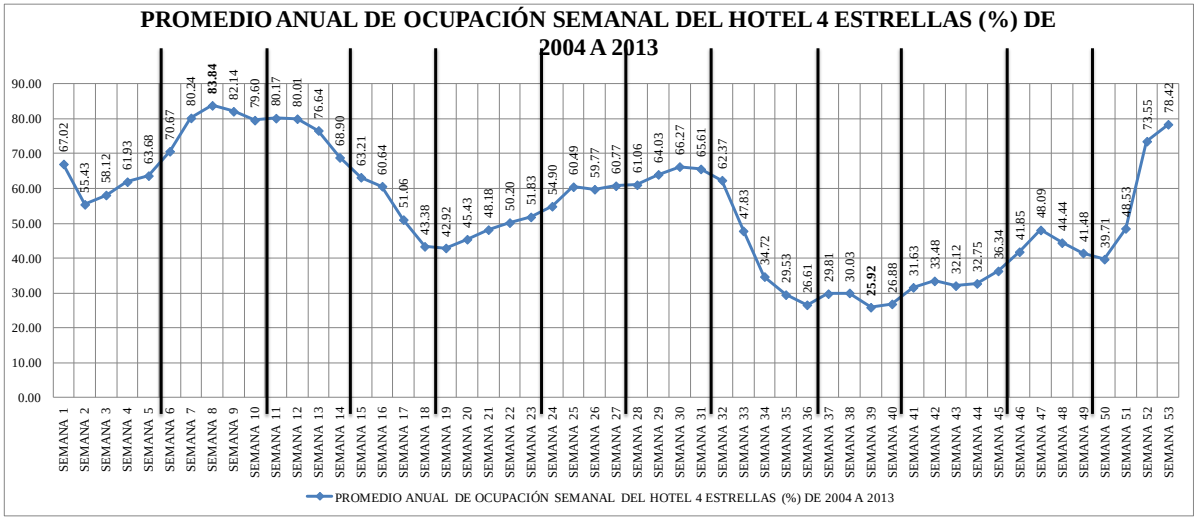
Fuente: elaboración propia con datos de BP de junio 2012. Mayo 2013 [13].

Gráfica 1-17. Consumo de gas natural en México, según reporte de la BP.



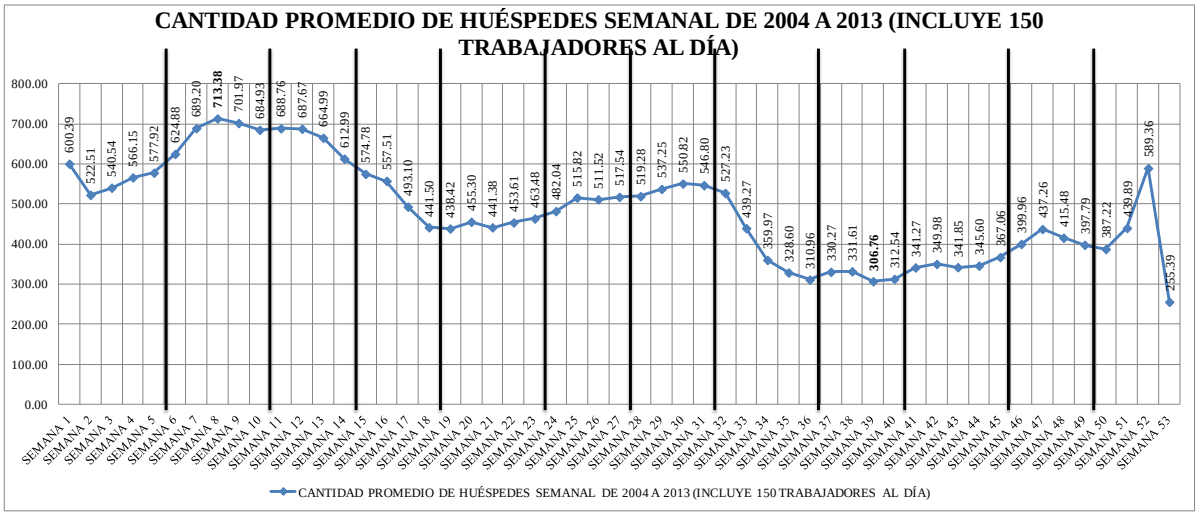
Fuente: elaboración propia con datos de BP de junio 2012. Mayo 2013 [13].

Gráfica 5-1. Porcentaje de ocupación por semana en un año tipo promedio para hoteles de 4 estrellas, desde 2004 a la semana 20 de 2013.



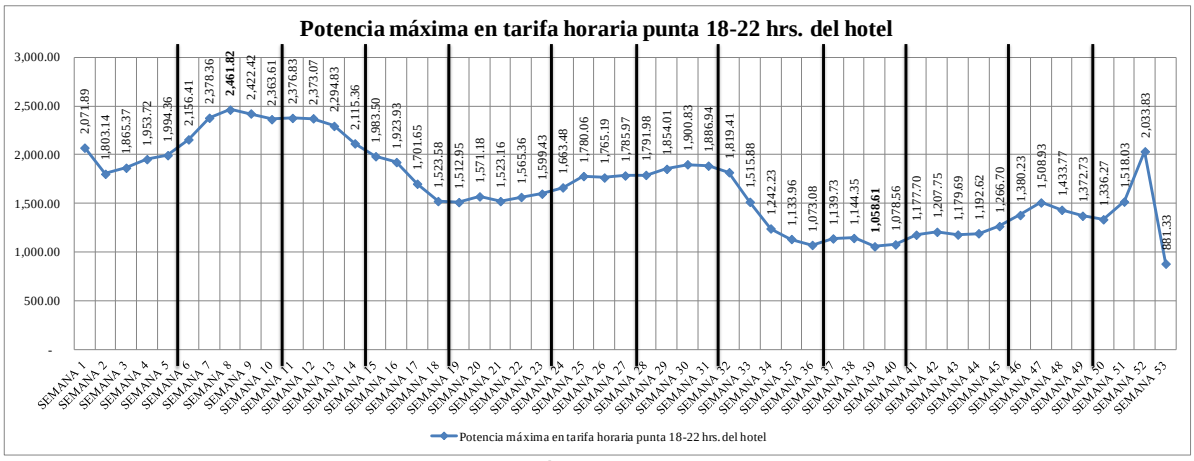
Fuente: elaboración propia con datos del Sistema Nacional de Información Estadística del Sector Turismo de México-DATATUR. Junio 2013 [29].

Gráfica 5-2. Cantidad promedio de huéspedes por semana en un año tipo promedio desde 2004 a la semana 20 de 2013 (incluye trabajadores de 3 turnos).



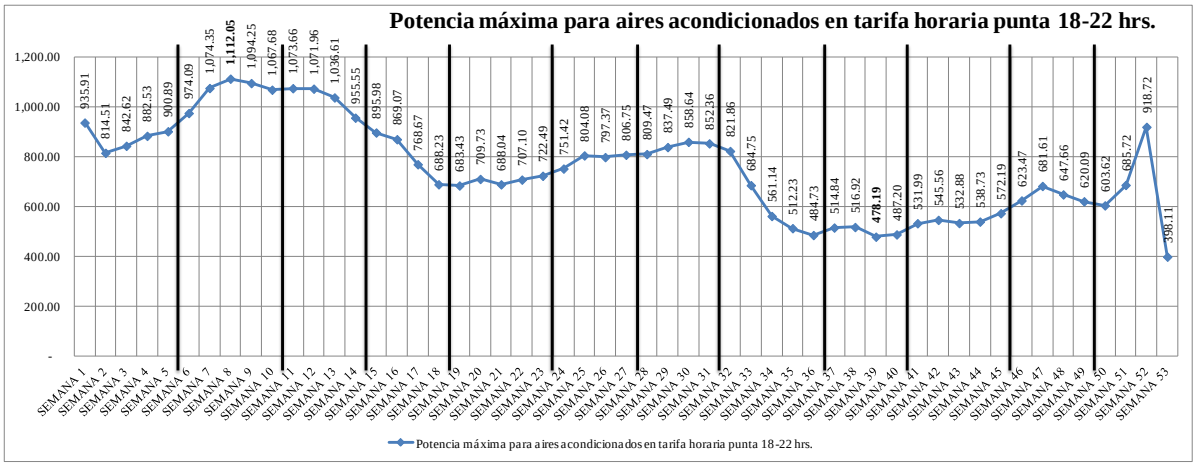
Fuente: elaboración propia con datos del Sistema Nacional de Información Estadística del Sector Turismo de México-DATATUR. Junio 2013 [29].

Gráfica 6.1-3. Potencia máxima del hotel (kW) por semana en un año tipo promedio desde 2004 a la semana 20 del 2013.



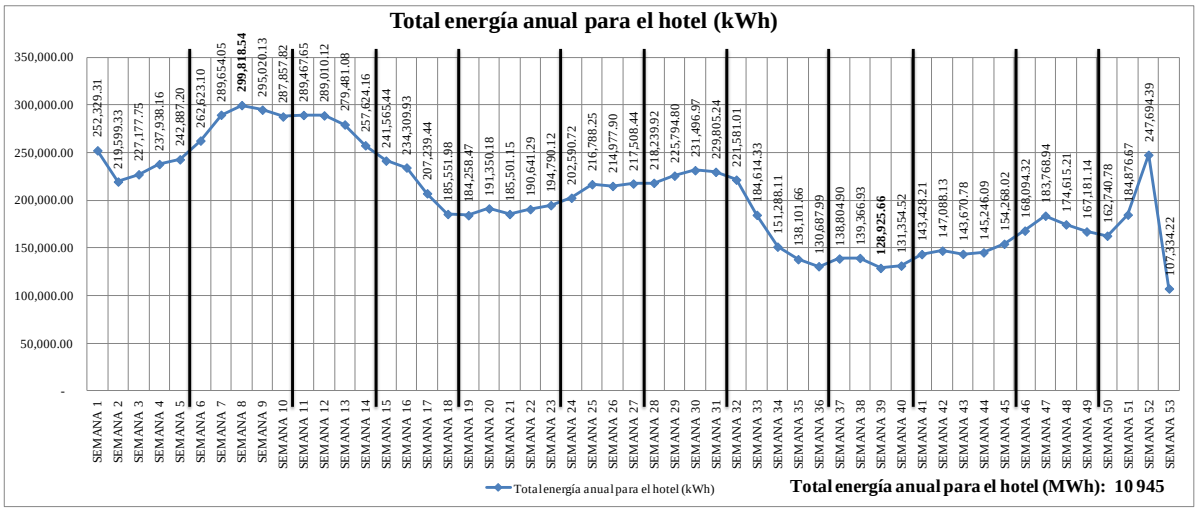
Fuente: elaboración propia. Junio 2013.

Gráfica 6.1-4. Potencia máxima de aires acondicionados (kW) por semana en un año tipo promedio desde 2004 a la semana 20 del 2013.



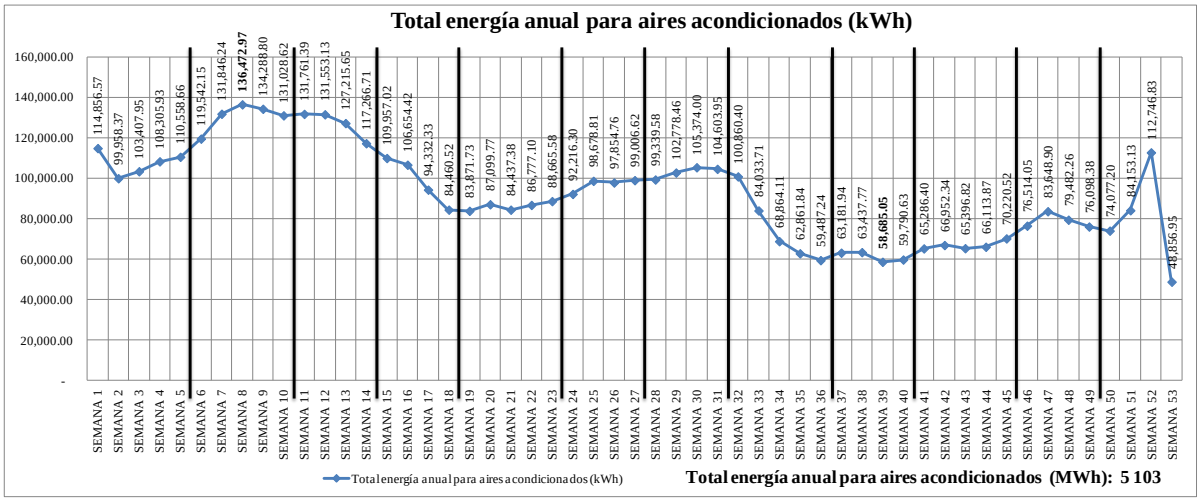
Fuente: elaboración propia. Junio 2013.

Gráfica 6.1-5. Energía total del hotel (kWh) por semana en un año tipo promedio desde 2004 a la semana 20 del 2013.



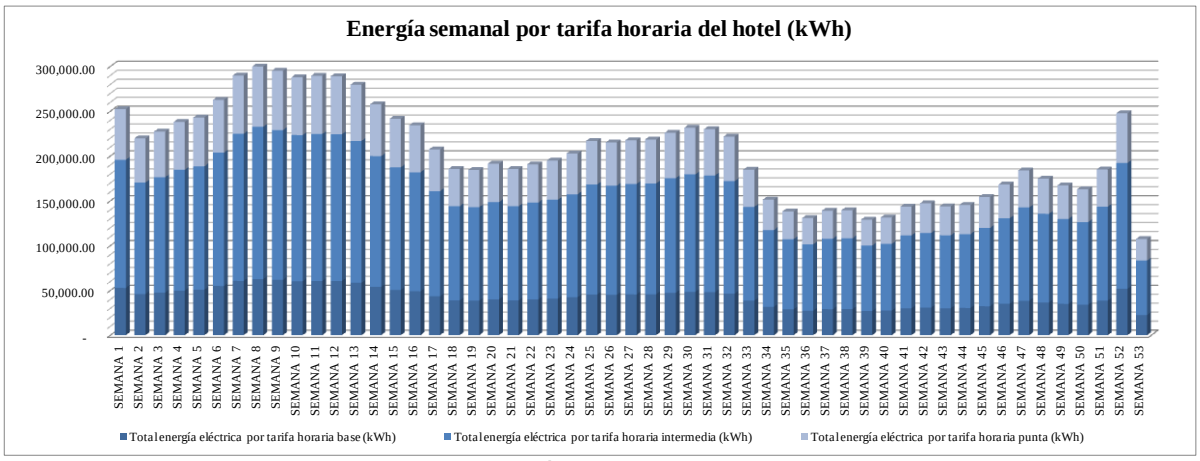
Fuente: elaboración propia. Junio 2013.

Gráfica 6.1-6. Energía de aires acondicionados (kWh) por semana en un año tipo promedio desde 2004 a la semana 20 del 2013.



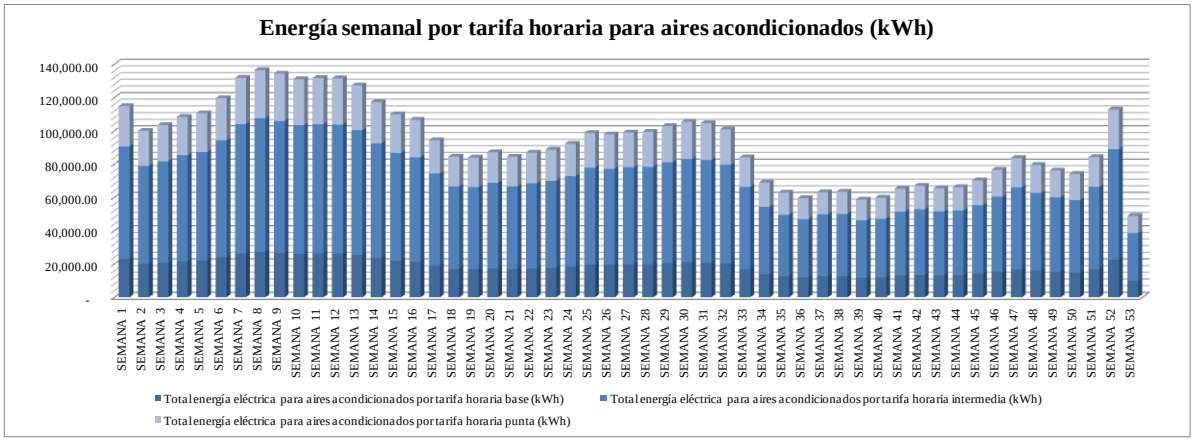
Fuente: elaboración propia. Junio 2013.

Gráfica 6.1-7. Energía total en tarifa horaria del hotel (kWh) por semana en un año tipo promedio desde 2004 a la semana 20 del 2013.



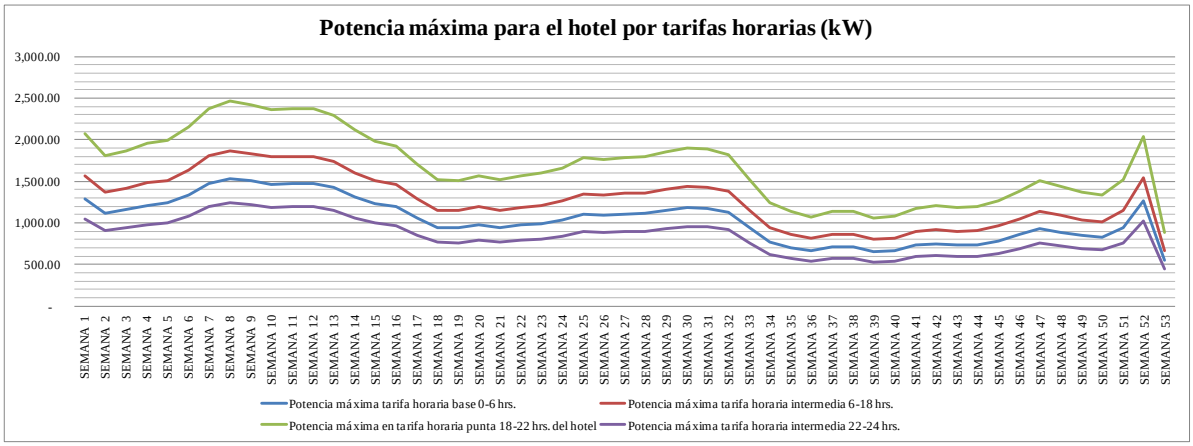
Fuente: elaboración propia. Junio 2013.

Gráfica 6.1-8. Energía total en tarifa horaria de aires acondicionados (kWh) por semana en un año tipo promedio desde 2004 a la semana 20 del 2013.



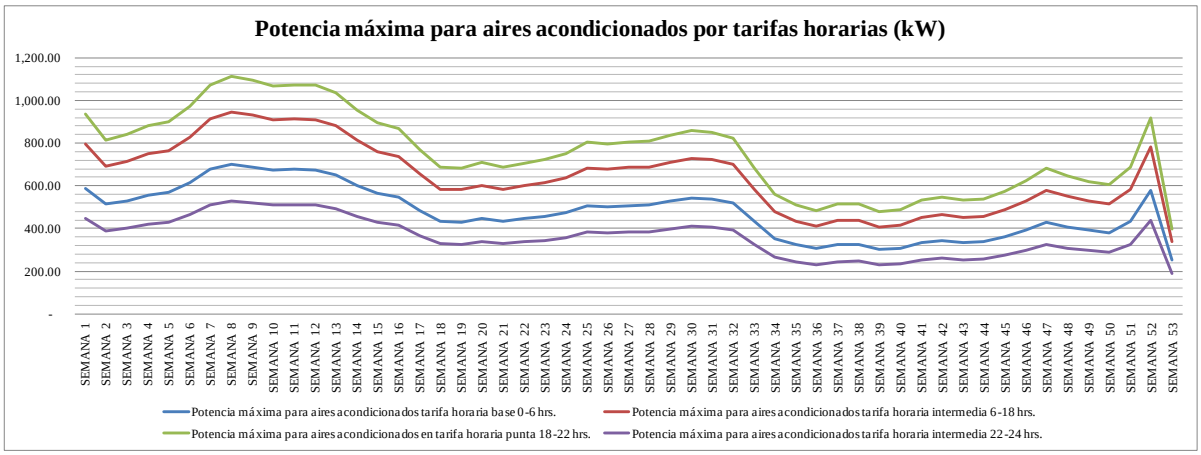
Fuente: elaboración propia. Junio 2013.

Gráfica 6.1-9. Demanda máxima total en tarifa horaria del hotel (kWh) por semana en un año tipo promedio desde 2004 a la semana 20 del 2013.



Fuente: elaboración propia. Junio 2013.

Gráfica 6.1-10. Demanda máxima en tarifa horaria para aires acondicionados (kWh) por semana en un año tipo promedio desde 2004 a la semana 20 del 2013.

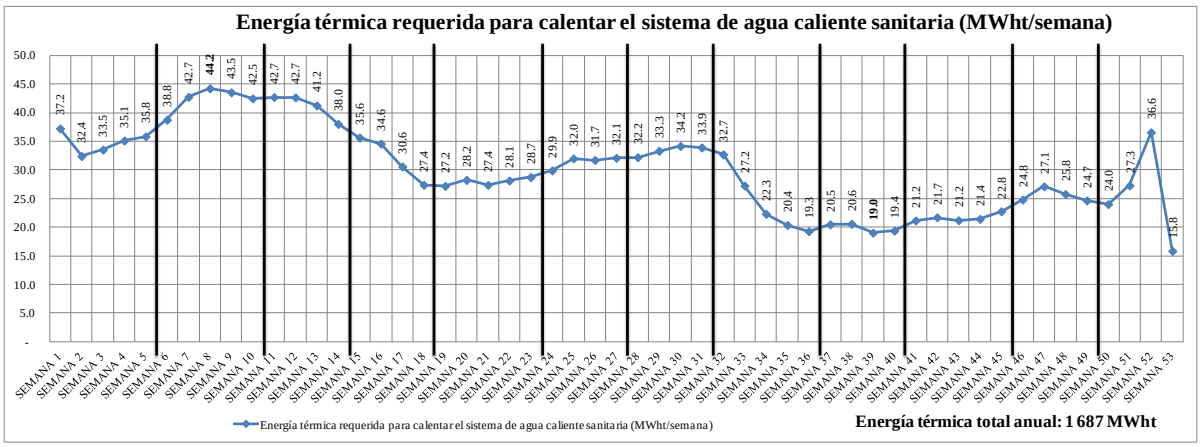


Fuente: elaboración propia. Junio 2013.

Grafica 6.1-11. Calor requerido para el sistema de agua caliente sanitaria (Mcal/semana).

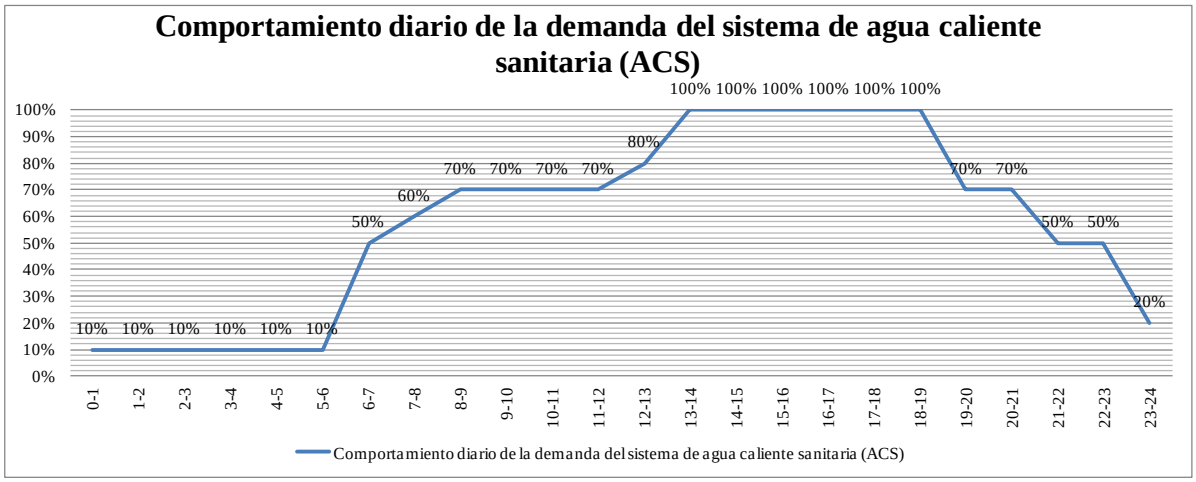
Fuente: elaboración propia. Septiembre 2013.

Grafica 6.1-12. Energía térmica requerida para calentar el sistema de agua caliente sanitaria (kWht/semana).



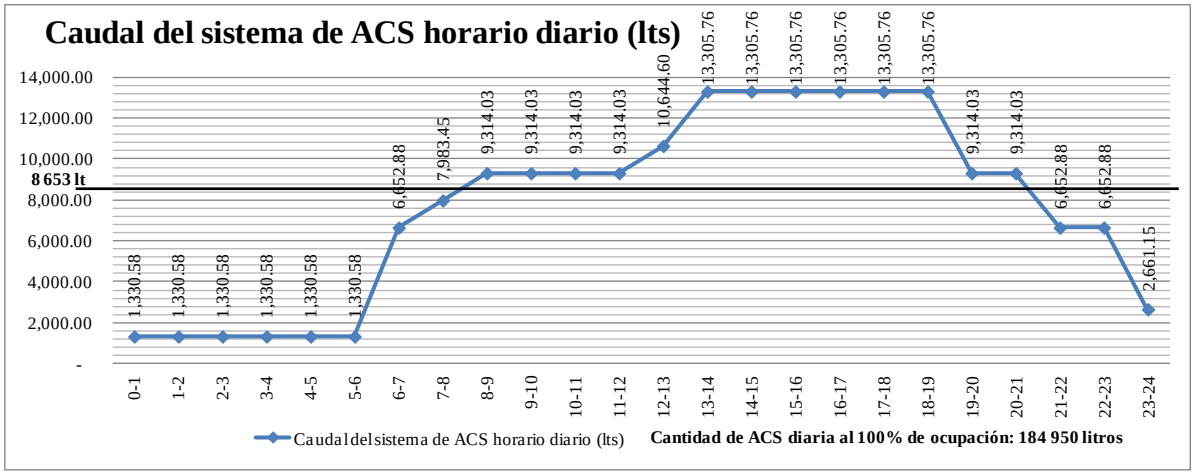
Fuente: elaboración propia. Septiembre 2013.

Grafica 6.1-13. Comportamiento horario diario de la demanda del sistema de ACS (%).



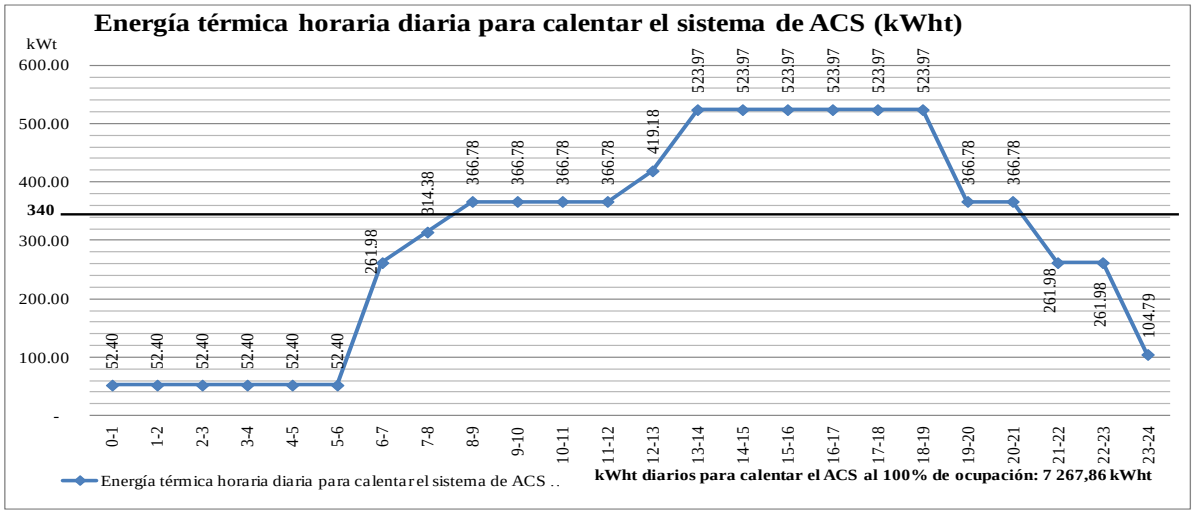
Fuente: elaboración propia. Septiembre 2013.

Gráfica 6.1-14. Caudal del sistema de ACS diario (lts).



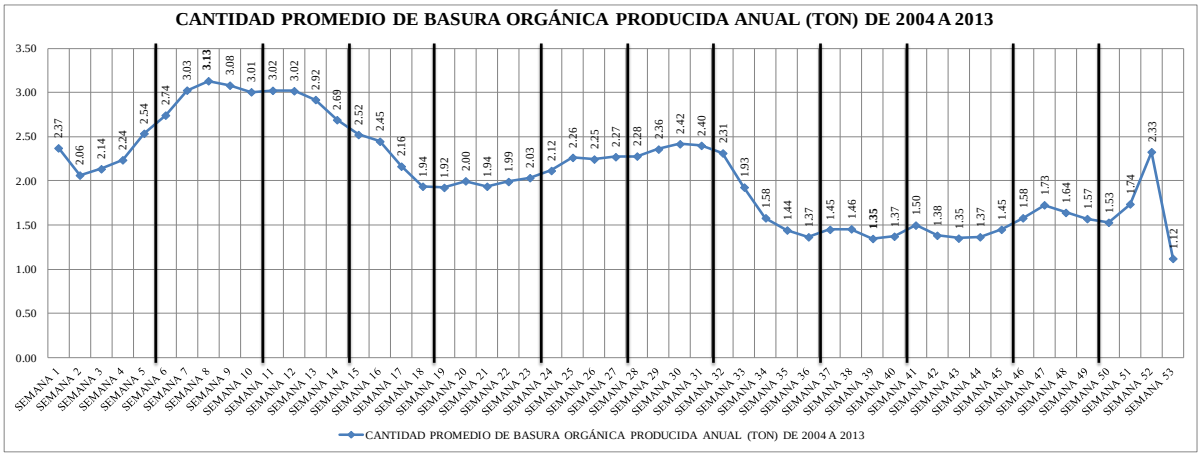
Fuente: elaboración propia. Septiembre 2013.

Gráfica 6.1-15. Energía térmica diaria para calentar el sistema de ACS (kWht).



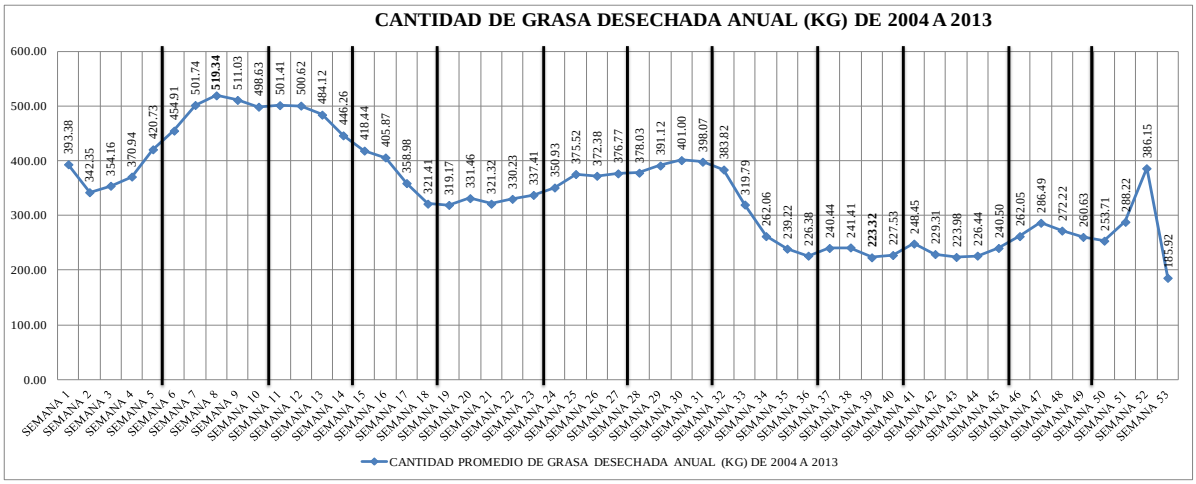
Fuente: elaboración propia. Septiembre 2013.

Gráfica 6.2-1. Cantidad de restos orgánicos generados por semana en un año tipo promedio desde 2004 a la semana 20 del 2013.



Fuente: elaboración propia. Junio 2013.

Gráfica 6.2-2. Cantidad de grasas desechadas por semana en un año tipo promedio desde 2004 a la semana 20 del 2013.



Fuente: elaboración propia. Junio 2013.

Gráfica 6.2-3. Cantidad de restos de podas de áreas verdes por semana en un año tipo promedio desde 2004 a la semana 20 del 2013.

Fuente: elaboración propia. Junio 2013.

12.3 Tablas.

Tabla 1-1. Plantas generadoras de energía eléctrica existentes en la Península de Yucatán: Yucatán, Campeche y Quintana Roo. Incluye el tipo de combustible utilizado.

Plant Name	Country	City / County Name	State/Province	Technology	Plant Primary fuel Code	Plant primary coal/oil/natural gas/ other fossil fuel category	Plant Generation Capacity (MW)
TRANSALTA CAMPECHE	Mexico	Empalizada	Campeche	Combined cycle	NATURAL GAS/DIESEL	Natural Gas	252.0
CFE CT LERMA	Mexico	Campeche	Campeche	Steam Generating	OIL	Oil	150.0
CFE CTG EL CARMEN	Mexico	Cd. del Carmen	Campeche	Turbo gas	DIESEL	Other Fuels	47.0
ENERGIA Y AGUA PURA DE COZUMEL	Mexico	Cozumel	Quintana Roo	Internal combustion	OIL	Oil	25.7
CFE CTG CANCUN	Mexico	Benito Juárez	Quintana Roo	Turbo gas	DIESEL	Other Fuels	102.0
CFE CTG NIZUC	Mexico	Benito Juárez	Quintana Roo	Turbo gas	DIESEL	Other Fuels	88.0
CFE CTG CHANKANAAB	Mexico	Cozumel	Quintana Roo	Turbo gas	DIESEL	Other Fuels	52.0
CFE CTG XULHA	Mexico	Othon P. Blanco	Quintana Roo	Turbo gas	DIESEL	Other Fuels	14.0
CFE CD HOLBOX	Mexico	Lázaro Cárdenas	Quintana Roo	Internal combustion	DIESEL	Other Fuels	3.0
AES MERIDA III	Mexico	Mérida	Yucatan	Combined cycle	NATURAL GAS	Natural Gas	484.0
CFE CT MERIDA II	Mexico	Mérida	Yucatan	Steam Generating	OIL	Oil	168.0
CFE CT FELIPE CARRILLO PUERTO	Mexico	Valladolid	Yucatan	Steam Generating	OIL	Oil	75.0
CFE CT NACHI COCCOM	Mexico	Mérida	Yucatan	Steam Generating	OIL	Oil	49.0

Fuente: elaboración propia con datos de CEC de octubre 2011. Junio 2013 [21].

Tabla 5-2. Constitución de los residuos sólidos urbanos del área a estudiar.

Municipio	Composición (% de masa)					
	Papel	Orgánicos (Restos de comidas)	Plástico	Textiles	Metal	Vidrio
Cozumel	11,0	49,0	22,0	2,0	5,0	4,0
Cancún	13,69	43,31	ND	2,16	3,36	4,31

Fuente: Programa Estatal para la Prevención y Gestión Integral de Residuos del Estado de Quintana Roo, México. 2009-2013. Gobierno de Quintana Roo. Secretaría de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente (SEDUMA), cuadro 6 p. 31, adaptado [19]. Nota: ND significa No Disponible. Se eliminaron datos no disponibles ni significativos para este trabajo.

Tabla 6.2-2. Transformación de materia en monómeros.

Componentes:	Se transforman en:
Carbohidratos	Azúcares de cadenas cortas
Proteínas	Aminoácidos
Grasas	Ácidos grasos y glicerinas

Fuente: Ramírez y Chimenos, 2011-2012, parte 2 diapositiva 4 [15] adaptado.

Tabla 6.2-3. Sustratos y reacciones en la fase de acetogénesis.

Substrate	Reaction
Propionic acid	$CH_3(CH_2)COOH+2H_2O \longrightarrow CH_3COOH+CO_2+3H_2$
Butyric acid	$CH_3(CH_2)2COO^-+2H_2O \longrightarrow 2CH_3COO^-+H^++2H_2$
Valeric acid	$CH_3(CH_2)_3COOH+2H_2O \longrightarrow CH_3COO^-+CH_3CH_2COOH+H^++2H_2$
Isovaleric acid	$(CH_3)_2CHCH_2COO^-+CHO_3^-+H_2O \longrightarrow 3CH_3COO^-+H_2+H^+$
Capronic acid	$CH_3(CH_2)_4COOH+4H_2O \longrightarrow 3CH_3COO^-+H^++5H_2$
Carbondioxid/Hydrogen	$2CO_2+4H_2 \longrightarrow CH_3COO^-+H^++2H_2O$
Glycerine	$C_3H_8O_3+H_2O \longrightarrow CH_3COOH+3H_2+CO_2$
Lactic acid	$CH_3CHOHCOO^-+2H_2O \longrightarrow CH_3COO^-+HCO3^-+H^++2H_2$
Ethanol	$CH_3(CH_2)OH+H_20 \longrightarrow CH_3COOH+2H_2$

Fuente: D. Deublein and A. Steinhauser. Biogas from Waste and Renewables Resources. Wiely-VCH, indicado por Ramírez y Chimenos, 2011-2012, parte 2 diapositiva 7 [15] adaptado.

Tabla 6.2-4. Sustratos y reacciones en la fase final de la metanogénesis.

Substrate type	Chemical reaction	ΔGf' (kJ mol^{-1})	Methanogic species
CO_2-type	$4H_2+HCO_3^-+H^+ \longrightarrow CH_4+3H_2O$	-135.4	All species
	$CO_2+4H_2 \longrightarrow CH_4+2H_2O$	-131.0	
CO_2-type	$4HCOO^-+H_2O+H^+ \longrightarrow CH_4+3HCO_3^-$	-130.4	Many species
Acetate	$CH_3COO^-+H_2O \longrightarrow CH_4+HCO_3$	-30.9	Some species
Methyl type	$4CH_3OH \longrightarrow 3CH_4+HCO_3^-+H^++H_2O$	-314.3	One species
Methyl type	$CH_3OH+H_2 \longrightarrow CH_4+H_2O$	-113.0	
e.g. Methyl type: Ethanol	$2CH_3CH_2OH+CO_2 \longrightarrow H_4+2CH_3COOH$	-116.3	

Fuente: D. Deublein and A. Steinhauser. Biogas from Waste and Renewables Resources. Wiely-VCH, indicado por Ramírez y Chimenos, 2011-2012, parte 2 diapositiva 8 [15] adaptado.