

REPÚBLICA DE CUBA.  
MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR.  
UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS  
"CARLOS RAFAEL RODRÍGUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA.



## **Trabajo de diploma**

**Título: Análisis de factibilidad de sistema de cogeneración en el hotel "Pasacaballos". Cienfuegos.**

**Autor: Jorge Ariel Rodríguez Pomares**

**Tutores: Dr.C. José P. Monteagudo Yanes.**

**Ms.C. Reinier Jiménez Borges.**

**Cienfuegos. Junio 2018**

**"Año 60 de la Revolución".**

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD  
UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS



Sistema de Documentación y Proyecto. Hago constar que el presente trabajo constituye la culminación de los estudios en la especialidad de Ingeniería Mecánica en la Universidad de Cienfuegos, autorizando a que el mismo sea utilizado por el Centro de Estudio Superior para los fines que estime conveniente, ya sea parcial o totalmente, que además no podrá ser presentado sin la aprobación de dicha institución.

---

Firma del autor.

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

---

Información Científico Técnico

Nombre y Apellidos. Firma.

---

Nombre y Apellidos. Firma.

---

Firma del Tutor.

Vice Decano.

---

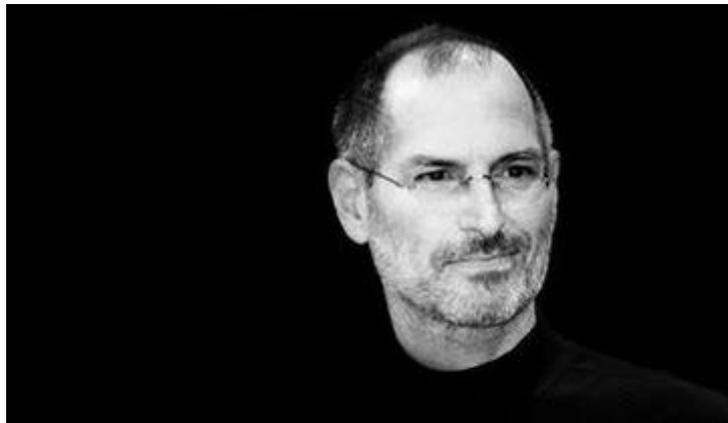
Nombre y Apellidos. Firma.

Sistema de Documentación y Proyecto.

## Pensamiento

**“Ten el coraje de seguir a tu corazón y a tu intuición. Ellos ya saben de algún modo, lo que realmente quieres llegar a ser.”**

**Steve Jobs**



## **Dedicatoria**

A mamá, por brindarme siempre sus útiles consejos, amor, apoyo y comprensión. Por confiar en mí y no defraudarme jamás.

A mi familia, por su cariño y confianza en mí.

A mi novia Ariadna Velázquez: por estar allí cuando más lo necesitaba, por darme aliento y confianza.

A mis amigos por todos los momentos pasados juntos y los que vendrán.

A mi tutor José Pedro Monteagudo Yanes por siempre estar cuando lo necesitaba, por su paciencia y su ayuda incondicional.

## **Agradecimientos**

Este trabajo no puede estar completo sin antes brindar mi más grande agradecimiento a cada una de las personas que me brindaron su amistad y apoyo en cada etapa de esta investigación.

-A mi familia, novia y amigos por siempre estar cuando lo necesitaba.

-A mis tutores José Pedro Monteagudo Yanes y Reinier Pérez Borges por toda la ayuda y los conocimientos brindados para la confección de este trabajo.

-A mis compañeros de aula por todo este tiempo juntos.

-A mis suegros por toda la confianza en mí y cariño brindado.

## Resumen

Este trabajo tuvo lugar en el hotel Pasacaballos de Cienfuegos y se realizó con el objetivo de seleccionar una alternativa de cogeneración que garantice las demandas de electricidad y calor del mismo. Para ello se recopiló la información necesaria en cuanto a los consumos de portadores energéticos durante los años 2015; 2016 y 2017, lo que permitió realizar una caracterización de la empresa para conocer los rangos de consumo de energía eléctrica y térmica de la instalación, dicha caracterización mostró que la electricidad, con un consumo medio anual de 437 TEP, es el mayor portador energético. Con el cálculo de la razón calor/electricidad se eligieron los equipos que debían comprarse para la puesta en marcha del sistema. Esta nueva alternativa abastece el 100 % de la demanda eléctrica del hotel y existe un excedente de 40 000 kWh/mes que pueden ser vendido al Sistema Eléctrico Nacional, además que suministraba la energía térmica necesaria al hotel para el proceso de climatización. Con la venta de esta energía y el dinero ahorrado por la entidad debido a que se producía su propia energía eléctrica se obtienen ingresos de 340 000 CUC/año. Se obtiene como resultado económico que el VAN es de 800 000 CUC, el TIR es 17 % y la inversión se recupera en 6 años, además, se dejan de emitir 47 500 tCO<sub>2</sub> a la atmósfera durante los 25 años de vida útil del sistema.

### **Palabras claves:**

- Cogeneración
- Portadores energéticos

## Summary.

This work was carried out at Pasacaballos Hotel in Cienfuegos and it was made out with the objective of selecting a cogeneration alternative that guarantees the demands of electricity and heat. To this end, the necessary information was collected regarding the consumption of energy carriers during the years 2015; 2016 and 2017, which allowed a characterization of the company to know the ranges of electrical and thermal energy consumption of the facility, said characterization showed that electricity, with an average annual consumption of 437 TEP, is the largest energy carrier. With the calculation of the heat / electricity ratio, the equipment that had to be purchased for the commissioning of the system was chosen. This new alternative provides 100% of the hotel's electricity demand and there is a surplus of 40,000 kWh / month that can be sold to the National Electric System, in addition to supplying the hotel with the necessary thermal energy for the air conditioning process. With the sale of this energy and the money saved by the entity due to the production of its own electric power, revenues of 340,000 CUC / year are obtained. The economic result is that the NPV is 800,000 CUC, the IRR is 17% and the investment is recovered in 6 years, in addition, 47 500 tCO<sub>2</sub> are left to the atmosphere during the 25 years of the system's useful life.

### **Key words:**

- Cogeneration
- Energy carriers

# Índice

INTRODUCCIÓN .....	1
Capítulo I: Estado actual del desarrollo y las tendencias de uso de la poligeneración en el suministro energético de instalaciones hoteleras. ....	4
Introducción al capítulo .....	4
1.1. Sistemas de cogeneración. Tendencias. ....	4
1.1.2 Beneficios e inconvenientes de los sistemas de cogeneración para Cuba .....	7
1.1.3 Tecnologías de Co/Trigeneración y sus aplicaciones. ....	8
1.2 Microcogeneración.....	16
1.2.1 Microcogeneración con motores. ....	17
1.2.2 Microcogeneración con turbinas.....	18
1.3 Situación actual de los sistemas de cogeneración en el Mundo, América Latina y Cuba. ....	18
1.4 Casos exitosos de cogeneración en hoteles. ....	23
1.4.1 Hotel El Mesón (España) .....	23
1.4.2 Hotel Altamar(Argentina).....	23
Capítulo II: Caracterización energética del Hotel Pasacaballos.....	25
2.1 Descripción general del hotel. ....	25
2.2 Caracterización energética. ....	26
2.2.1 Determinación de áreas de trabajo con uso significativo de energía.....	30
2.2.2 Comportamiento del consumo de energía eléctrica por horarios. ....	36
2.2.3 Comportamiento del consumo de energía eléctrica por años.....	36
2.2.4 Relación entre los consumos de energía y el nivel ocupacional. ....	37
2.2.5 Relación entre las temperaturas ambientales y el consumo de energía eléctrica.....	39
2.2.6 Gráficos de control. ....	41
2.2.7 Gráficos de consumo de energía vs producción.....	43
2.2.8 Diagrama índice de consumo – producción (IC vs. P).....	48
2.2.9 Comparación de energía eléctrica media en función de las HDO, energía eléctrica máxima estimada y energía eléctrica real o facturada. ....	50
2.2.10 Comparación de energía térmica media en función de las HDO, energía térmica máxima estimada y energía térmica real o facturada.....	53
Conclusiones parciales: .....	61
Capítulo 3: Propuesta de esquema energético de cogeneración al hotel Pasacaballos.....	63

Introducción al capítulo.....	63
3.1: Eficiencia y cantidad de combustible necesario para satisfacer demanda energética el hotel Pasacaballos.....	63
3.2 Propuesta de sistema de cogeneración para producción de frío con máquina de absorción en hotel Pasacaballos.....	67
3.2.1. Energía eléctrica estimada, consumida y en función de las HDO sin tener en cuenta los consumos energéticos por climatización. ....	67
3.2.2 Energía térmica estimada y en función de las HDO. ....	69
3.2.3 Relación calor/electricidad.....	70
3.2.4: Ubicación del sistema de cogeneración.....	74
3.2.5 Elección de la máquina de absorción ....	74
Conclusiones parciales: .....	79
Capítulo 4: Valoración económica y ambiental del sistema de cogeneración. ....	80
Introducción al capítulo.....	80
4.1: Valoración económica del sistema actual. ....	80
4.2: Análisis económico del sistema de cogeneración. ....	81
4.2.1: Inversión inicial.....	81
4.2.2: Ingresos generados por el sistema. ....	82
4.2.3: Gastos por combustible y operación y mantenimiento.....	82
4.3: Evaluación financiera del proyecto. ....	82
4.3.1: Valor Presente Neto (VPN) o Valor Actual Neto (VAN). ....	83
4.3.2: Tasa interna de retorno (TIR). ....	84
4.3.3: Período de recuperación de la inversión (PRI). ....	84
4.3.4: Resultados de la evaluación financiera del proyecto. ....	84
4.4: Impacto ambiental. ....	86
4.4.1: Efectos de los contaminantes sobre la salud. ....	87
4.4.2 Cálculo de las emisiones de CO <sub>2</sub> a la atmósfera del sistema actual y el propuesto. ...	88
Conclusiones parciales: .....	89
Conclusiones generales.....	90
Recomendaciones.....	92
Referencias bibliográficas .....	92
Anexos.....	94

## INTRODUCCIÓN

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

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

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

La cogeneración como alternativa de incremento de la eficiencia energética es poco empleada, a pesar de que sus potencialidades son extraordinarias. Cogenerar significa aprovechar una misma fuente primaria de energía:

petróleo, carbón, gas o biomasa, a fin de producir electricidad, calor para cocción, calefacción, refrigeración u otros usos al mismo tiempo. En los casos en que se produce simultáneamente electricidad, calor y frío, suele llamársele trigeneración. El empleo de la cogeneración permite incrementar la eficiencia en el uso de los combustibles y es una tecnología de amplio empleo en la actualidad. La misma puede introducirse en industrias de proceso, hoteles, hospitales, y en general en toda instalación donde se genere vapor a partir de un combustible y se demande electricidad o frío.

En Cuba existen numerosas instalaciones hoteleras, que resultan ser altas consumidoras de energía en forma de electricidad y frío para climatización. La composición de sus demandas energéticas resulta tener una distribución de dos partes: frío para satisfacer demanda de energía térmica para climatización y electricidad para la puesta en marcha de equipos consumidores de energía eléctrica. Estas y otras particularidades del abastecimiento energético de los hoteles, indican que puede resultar muy conveniente y económicamente viable la creación de un sistema de cogeneración que sea capaz de satisfacer las demandas de electricidad mediante generación distribuida y utilizar el calor residual para sustituir total o parcialmente el consumo de combustible y el de electricidad.

### **Problema científico:**

El suministro de energía en las instituciones hoteleras cubanas se realiza desde las centrales termoeléctricas o desde grupos electrógenos, de bajo rendimiento térmico, elevado costo y con el uso de combustible fósil de alto impacto ambiental, no existiendo una alternativa de mayor eficiencia.

### **Hipótesis:**

El uso de sistemas de cogeneración en las instalaciones hoteleras, debe proveer un abastecimiento energético de mayor rendimiento térmico, menor costo, mejor utilización del combustible fósil empleado y la reducción del impacto ambiental.

### **Objetivo.**

Comprobar la factibilidad termodinámica, económica y de mejoramiento ambiental del uso de cogeneración o trigeneración en una instalación hoteleras.

### **Objetivos específicos:**

1. Sintetizar el estado actual y las tendencias, en Cuba y el mundo, del uso de los sistemas de poligeneración en el abastecimiento energético de instalaciones hoteleras. Compendiar las mejores experiencias de casos de estudios exitosos.
2. Caracterizar el uso de la energía en el hotel objeto de estudio, verificando los indicadores energéticos que son utilizados.
3. Elaborar la metodología y desarrollar el cálculo de una planta de poligeneración para la instalación hotelera.
4. Evaluar el impacto económico y ambiental de la planta de poligeneración propuesta para la instalación hotelera.

# **Capítulo I: Estado actual del desarrollo y las tendencias de uso de la poligeneración en el suministro energético de instalaciones hoteleras.**

## **Introducción al capítulo**

Existe como tendencia internacional el uso de los sistemas de cogeneración para lograr una mayor eficiencia de los combustibles fósiles y un menor impacto ambiental. Esto posibilita a los sistemas no tener que hacer grandes inversiones en los sistemas de generación porque las empresas por separado están invirtiendo en su generación y la energía eléctrica que sobra la venden al sistema eléctrico. Esto tiene como inconveniente el hecho de que a veces hace algo inestable el sistema y muchas veces las empresas generadoras no están de acuerdo con el trabajo conjunto con esos sistemas de generación. En Cuba la cogeneración tiene esa característica, se ha permitido la cogeneración a los centrales azucareros la se efectúa a lo largo de la zafra con biomasa, pero no ocurre así con el sector hotelero u otros sectores industriales.

En la actualidad el precio del combustible y las emisiones de gases de efecto invernadero por centrales eléctricas han aumentado por lo que se está abogando por un mejor uso de los combustibles fósiles, lo que hace que la cogeneración sea una de las posibles soluciones a estos problemas.

### **1.1. Sistemas de cogeneración. Tendencias.**

La eficiencia energética es un importante y creciente contribuyente a la mitigación del cambio climático y, al mismo tiempo, aporta a la reducción del costo energético y da pie para la innovación tecnológica. La cogeneración es una tecnología alcanzable y atractiva en lo que respecta a eficiencia energética, mostrando también beneficios en lo que concierne a suministro eléctrico.

La cogeneración es la generación simultánea de energía eléctrica y calor útil a partir de un único proceso de consumo de energía primaria. Esta tecnología engloba todos los conceptos y tecnologías en las cuales el calor y la potencia eléctrica son conjuntamente generados por una sola unidad y utilizados por uno o varios consumidores. (Conuee 2009)

Los altos niveles de eficiencia de esta tecnología se deben a utilizar energía residual como un co-producto de la generación de potencia. La cogeneración es mucho más eficiente que la producción de electricidad y calor por separado, aportando más de un 30% a la eficiencia del sistema conjunto y reduciendo el consumo de combustible en más de 50%. (Piewack 2001)

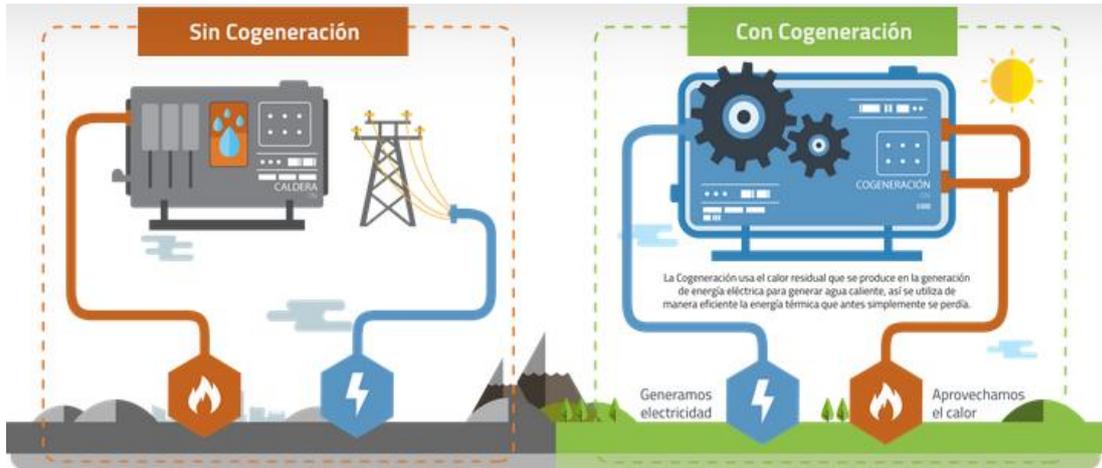


Figura I.1: Sistema convencional y sistema con cogeneración.

(fuente:www.cogenchile.cl)

"Los suministros de energía seguros, confiables y asequibles son fundamentales para la estabilidad y el desarrollo económico. El empeoramiento de la diferencia entre la oferta y la demanda de energía, con importantes consecuencias en los precios de la energía, la amenaza de un cambio climático perturbador y la erosión de la seguridad energética, plantea importantes desafíos para los responsables de la toma de decisiones sobre energía y medio ambiente. Un uso más eficiente de las fuentes de energía primaria puede ayudar a mitigar el impacto de estas tendencias negativas. La cogeneración representa una tecnología comprobada para lograr ese objetivo"(International Energy Agency 2015). Muchos países industrializados se han tomado esto en serio y han desarrollado objetivos y políticas explícitos para promover la cogeneración. En febrero de 2004, la Unión Europea (UE) adoptó la Directiva de Cogeneración para promover la misma en la UE abordando varios problemas, incluida la falta de conocimiento, disposiciones poco claras relacionadas con el acceso a la red eléctrica, apoyo inadecuado de autoridades

locales y regionales que determinan cómo la cogeneración califica como altamente eficiente. (UE 2004)

La cogeneración a menudo también implica un cambio de combustible para la generación de electricidad, por ejemplo, de las centrales eléctricas de carbón a los motores de gas. Más específicamente, el informe de IEA, que resultó de la cumbre del Grupo de los Ocho (G8) en Heiligendamm, Alemania, declaró que la cogeneración puede reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> para 2030 en más del 10% (950 Mt / año), lo que equivale a 1,5 veces las emisiones anuales totales de CO<sub>2</sub> de la generación de energía de la India (International Energy Agency 2015). La reducción de emisiones es aún mayor en los países donde la generación de electricidad, los sistemas de transmisión y distribución son antiguos e ineficientes. "Debido a la menor necesidad de inversión en redes de transmisión y distribución y el desplazamiento de plantas generadoras de mayor costo, el uso de sistemas de cogeneración puede reducir las inversiones del sector energético en todo el mundo en US \$ 795 mil millones durante los próximos 20 años, lo que corresponde a alrededor del 7% del total la inversión proyectada en el sector de energía durante el período 2005-2030"(International Energy Agency 2015).

La cogeneración se utiliza principalmente en la industria en la que las calderas de combustible sólido/gas o eléctricas pueden remplazarse por unidades de cogeneración, y el calor residual y la electricidad se utilizan para el propio consumo de la planta; idealmente, el exceso de energía eléctrica se suministra a la red. Cualquier demanda de electricidad restante se proporciona desde la red, lo que mejora la seguridad del suministro para el usuario de energía.

Por lo tanto, la cogeneración contribuye a la eficiencia energética en el nivel del usuario final, pero al mismo tiempo puede considerarse parte del sistema de suministro de electricidad. Si se utiliza biogás o biomasa como combustible, la cogeneración se convierte en parte de las actividades de energía renovable del país.

Para los países en desarrollo también es relevante el impulso hacia la cogeneración ya que una mayor eficiencia energética primaria y ahorros en emisiones de CO<sub>2</sub> son cruciales para estos países. Esto se aplicará aún más a

medida que aumente la demanda de confort térmico, lo que provocará la necesidad de una capacidad adicional de calefacción y refrigeración: esto podría y debería proporcionarse mediante co/trigeneración para limitar el crecimiento de la demanda de electricidad.

### **1.1.2 Beneficios e inconvenientes de los sistemas de cogeneración para Cuba**

Los beneficios potenciales de la cogeneración a nivel nacional son:

- Ahorros de energía primaria. Incrementando la capacidad de cogeneración en la industria, puede ayudar a reducir el consumo de combustibles que actualmente se usan en las plantas de generación de potencia y el suministro de calor o frío al consumidor.
- Incremento de la eficiencia de distribución. Las pérdidas por transformación y distribución disminuyen al tener a los sistemas generadores ubicados en los centros de consumo.
- Difiere inversiones requeridas en ampliar la capacidad instalada en el país. Con los sistemas de cogeneración industrial se disminuye el crecimiento de la demanda, por lo que el crecimiento de la oferta se puede realizar más lentamente, lo que implica disminuir la velocidad de construcción de nuevas plantas generadoras.
- Reduce emisiones globales. Al disminuir globalmente el uso de energía primaria, produce que las emisiones derivadas de la combustión de combustibles fósiles disminuyan. (Borroto 2009)

A pesar de las grandes ventajas que tiene la cogeneración existen una serie de inconvenientes:

- Los sistemas de cogeneración requieren de una inversión sustancial, que muchas compañías no están en disposición de realizar por tratarse de un proyecto que no incrementa su capacidad de producción, aunque sea altamente favorable.
- En algunos proyectos su economía puede ser muy sensible a los costos de energía eléctrica y de los combustibles, los cuales son impredecibles, aunque la tendencia normal es hacia su aumento por lo menos en el mediano plazo. Para los proyectos que son altamente dependientes de

la venta de excedentes a la red, deben de buscar contratos a largo plazo con precios de compra que mantengan la rentabilidad del proyecto.

- Necesidades de una normativa adecuada para regular y resolver los numerosos posibles puntos conflictivos que pueden presentarse en las relaciones cogenerador-compañía eléctrica.
- Problemas de regulación de la red al conectar en paralelo los equipos del generador con la red de distribución debido a los intercambios de energía entre ambos y a los posibles fallos de suministro de los equipos del cogenerador.
- Menor mercado. El cogenerador reduce el suministro de la compañía eléctrica con su propio autoabastecimiento y con la posible venta a la red o a terceros.
- Específicamente en el caso de los hoteles, estos sistemas son frecuentemente rechazados debido a que se necesita de una planta de cogeneración con personal capacitado que no responde a la actividad típica del hotel. (Borroto 2009)

### **1.1.3 Tecnologías de Co/Trigeneración y sus aplicaciones.**

Convencionalmente, la potencia y el calor se suministran desde ciclos de generación separados. La electricidad se produce en centrales eléctricas centralizadas a gran escala y se suministra al cliente a través de la red. El calor se produce principalmente en calderas de calefacción descentralizadas y se utiliza en el sitio. Durante el proceso de generación de electricidad, las centrales térmicas emiten grandes cantidades de calor residual, que a menudo permanece sin usar. Este calor residual de las centrales eléctricas puede utilizarse para cubrir las demandas de calefacción o refrigeración cercanas por medio de redes de suministro a los usuarios.

Las aplicaciones de Cogeneración/Trigeneración son ideales para perfiles de carga constante de calefacción y refrigeración de energía y electricidad. Por lo tanto, esta tecnología es especialmente aplicable para los segmentos del sector que se muestran en la Figura I.2.



Figura I.2: Aplicaciones típicas para tecnologías de co/trigeneración. (fuente: [www.levenger.es](http://www.levenger.es))

Dado que el proceso de generación simultánea minimiza las pérdidas de energía en comparación con la generación y transmisión separada de electricidad y calor (y / o frío), la cogeneración alcanza eficiencias agregadas tan altas como 80-95% en comparación con la eficiencia de procesos de generación separados de aproximadamente 50%, proporcionando ganancias de eficiencia de más del 30% y, por lo tanto, ahorros de energía primaria de más del 50%. (Borroto 2009)

**Cogeneración:** Planta de generación combinada de Electricidad y Calor



**Producción separada:** Planta convencional de electricidad y Caldera



Figura I.3: Planta convencional de electricidad y caldera y planta de cogeneración (fuente:www.fenercom.com)

La Figura I.3 ilustra la ganancia agregada de eficiencia a través de la cogeneración. En este ejemplo, se asume una tecnología de generación altamente eficiente (eficiencia de la planta de energía: 44%), lo que lleva a un ahorro de combustible de 58 unidades en comparación con la producción separada de electricidad y calor. La ganancia de eficiencia agregada a través de cogeneración es del 37%. (Orlando 2010)

Existe gran variedad en el tipo de combustible que se puede utilizar en una planta de cogeneración (carbón, gas natural, biomasa, etc.) así como el tipo de tecnología que puede ser usada para procesar estos combustibles. (Figura I.4)

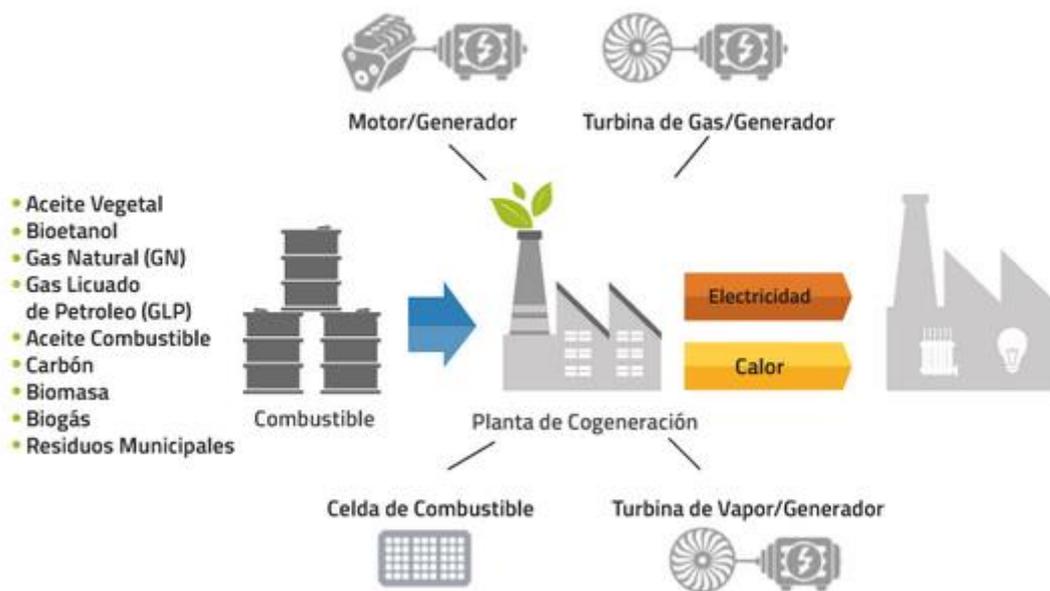


Figura I.4: Tipo de combustible, tecnología y proceso de conversión de energía para cogeneración.(fuente:www.fenercom.com)

El carbón es el combustible dominante para la cogeneración a gran escala (> 50 MWe) en el sector energético, mientras que el gas natural y la biomasa son comunes en aplicaciones a menor escala (Orlando 2010). La elección de la tecnología de cogeneración adecuada depende de las ventajas y desventajas de cada una de ellas y de cómo se adaptan las mismas a los requerimientos del sistema a diseñar.

### 1.1.3.1 Turbina de gas.

Las turbinas de gas para generación de electricidad tienen potencias desde unos cientos de kilovatios hasta más de trescientos megavatios, aunque hay modelos para aplicaciones especiales de unos kilovatios e incluso de unos vatios. En la tabla I.1 se presentan ventajas y desventajas de este tipo de tecnología.

Tabla I.1: Ventajas y desventajas de los sistemas de cogeneración con turbina de gas.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Amplia gama de capacidades (500kW-265MW)	Baja eficiencia en carga parcial

Alcanza eficiencias globales mayores de 80%	Limitantes en cuanto al combustible usado
Alta seguridad de operación	
Bajo costo relativo de inversión	

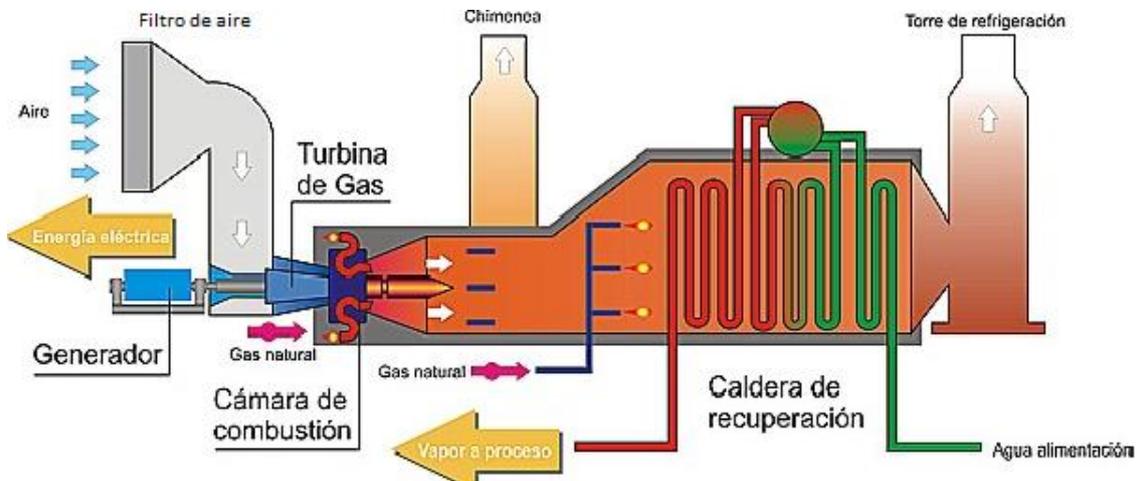
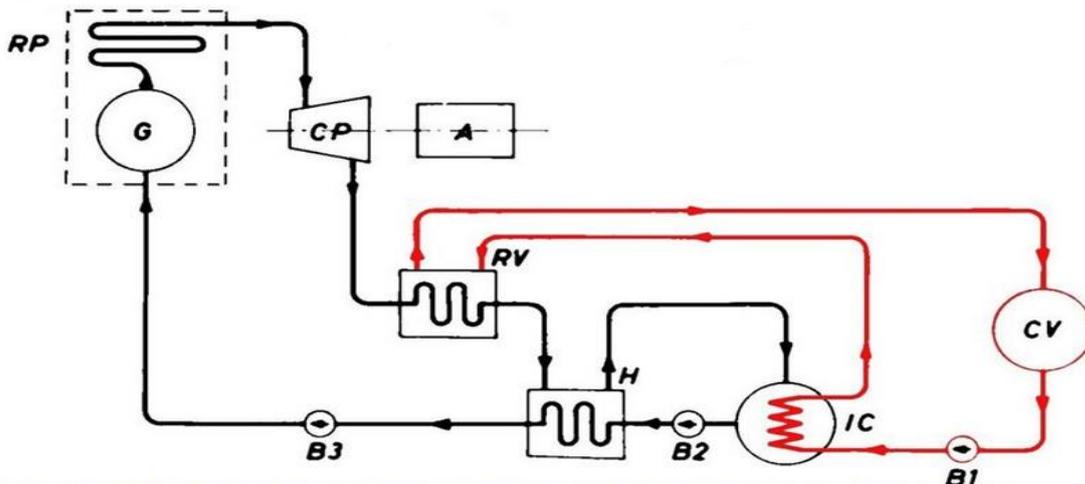


Figura I.5: Cogeneración con turbina de gas. (fuente:www.cogenspain.org)

### 1.1.3.2 Turbina de vapor

Existen dos esquemas básicos con turbinas de vapor: con turbinas de contrapresión y con turbinas de extracción - condensación.

En las turbinas de contrapresión su principal característica es que el vapor, cuando sale de la turbina se envía directamente al proceso sin necesidad de contar con un condensador y equipo periférico, como la torre de enfriamiento; la generación de energía eléctrica depende de la demanda de vapor en el proceso, la relación calor/electricidad (Q/E) es superior a 4. (Borroto 2009)



**Esquema del ciclo de funcionamiento de una turbina de contrapresión:**  
**G** — Generador de vapor (caldera). **RP** — Recalentador primario. **CP** — Turbina de contrapresión. **A** — Generador eléctrico. **RV** — Recalentador de vapor de contrapresión. **H** — Precalentador del agua de alimentación (recuperador). **IC** — Intercambiador de calor (evaporador). **CV** — Circuito de utilización del vapor. **B1** —Bomba de alimentación del evaporador. **B2** — Bomba de extracción del

Figura I.6: Sistema con turbina de vapor a contrapresión.(Fuente:www.plantasdecogeneración.com)

En las turbinas de extracción - condensación, una parte del vapor puede extraerse en uno o varios puntos de la turbina antes de la salida al condensador, obteniendo así, vapor a proceso a varias presiones destinado al proceso, mientras que el resto del vapor se expande hasta la salida del condensador. Estos sistemas se aplican principalmente en aquellas instalaciones en las que la necesidad de generar energía eléctrica es superior y es independiente a la demanda de vapor en el proceso.

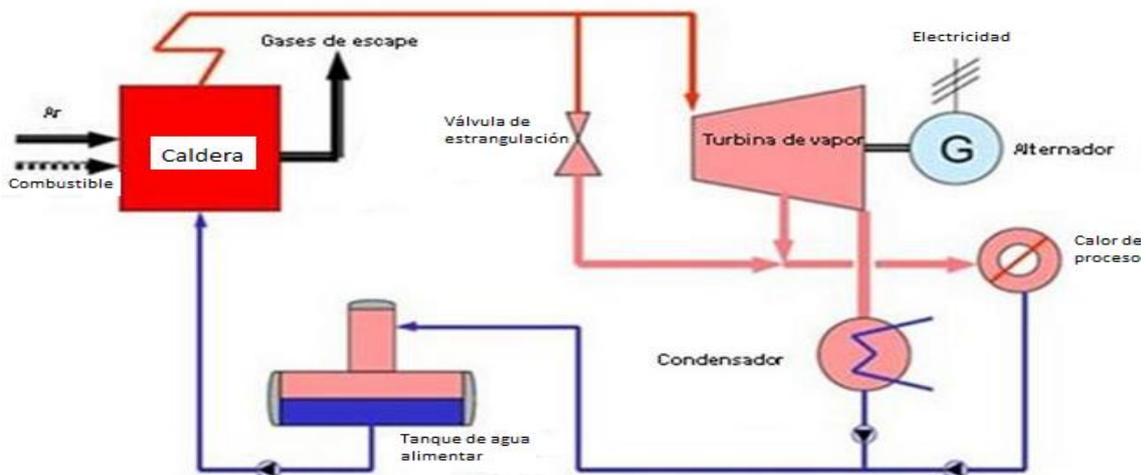


Figura I.7: Sistema con turbina de vapor a extracción-condensación (fuente: [www.plantasdecogeneración.com](http://www.plantasdecogeneración.com))

En estos sistemas, la energía mecánica se produce por la expansión del vapor de alta presión procedente de una caldera convencional. Históricamente, este ciclo fue el primero que se usó en cogeneración. Actualmente su aplicación ha quedado prácticamente limitada como complemento para ciclos combinados o en instalaciones que utilizan combustibles residuales, como biomasa. Véase ventajas y desventajas en tabla I.2.

Tabla I.2: Ventajas y desventajas de los sistemas de cogeneración con turbinas de vapor.

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Capacidades de 0,5MW hasta más de 100MW	Altos costos de inversión
Alta eficiencia global del sistemas (90%)	Tiempo de arranque muy lento
Alta seguridad de operación	Baja relación de energía eléctrica/energía térmica (15%)
Larga vida útil (25 años)	

### 1.1.3.3 Ciclo combinado.

Se denomina ciclo combinado a la aplicación conjunta de turbinas de gas y turbinas de vapor. La variante más utilizada es utilizar los gases de escape de la turbina de gas para generar vapor en una caldera recuperadora (con o sin postcombustión) y el vapor generado utilizarlo para el accionamiento de la turbina de vapor como se muestra en la figura I.8, enviando el vapor de extracciones y/o de escape de esta al proceso para suplir la demanda de calor.

Tabla I.3: Ventajas y desventajas de los sistemas de cogeneración con ciclo combinado.

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Alta producción de electricidad	Limitantes en cuanto al empleo de combustible
Elevada eficiencia térmica	Alto costo de inversión
Operación flexible	
Alta relación energía eléctrica/energía térmica	

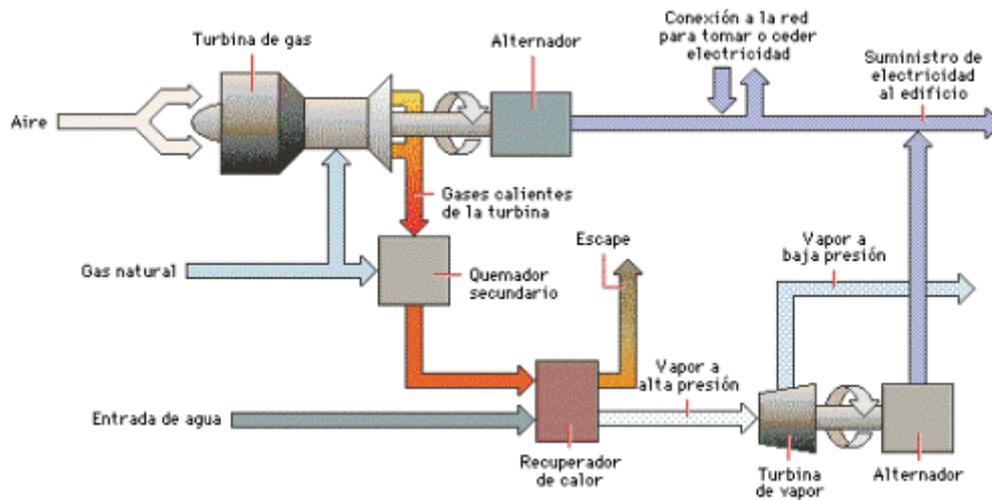


Figura I.8: Sistema con ciclo combinado de cogeneración (fuente: [www.plantasdecogeneración.com](http://www.plantasdecogeneración.com))

#### 1.1.3.4 Motores de combustión interna.

Esta tecnología utiliza gas, gasóleo o fuel-oil como combustible. En general se basan en la producción de vapor a baja presión (hasta 10 bares) o aceite térmico y en el aprovechamiento del circuito de agua de refrigeración de alta temperatura del motor. Véase en tabla I.4 ventajas y desventajas de este tipo de sistema. Son también adecuadas para la producción de frío por absorción.

Tabla I.4: Ventajas y desventaja de los sistemas de combustión con motores de combustión interna (MCI)

Ventajas	Desventajas
Alta eficiencia de producción de energía eléctrica (hasta 40%)	Altos costos de mantenimiento
Eficiencia global del sistema del orden del 70%	Baja temperatura de la energía térmica producida
Capacidades desde 15kW a mayores de 20MW	Dispersión de la energía térmica recuperada
Alta eficiencia a baja carga	
Consumo medio de agua de enfriamiento	
Requiere e poco espacio para la instalación	

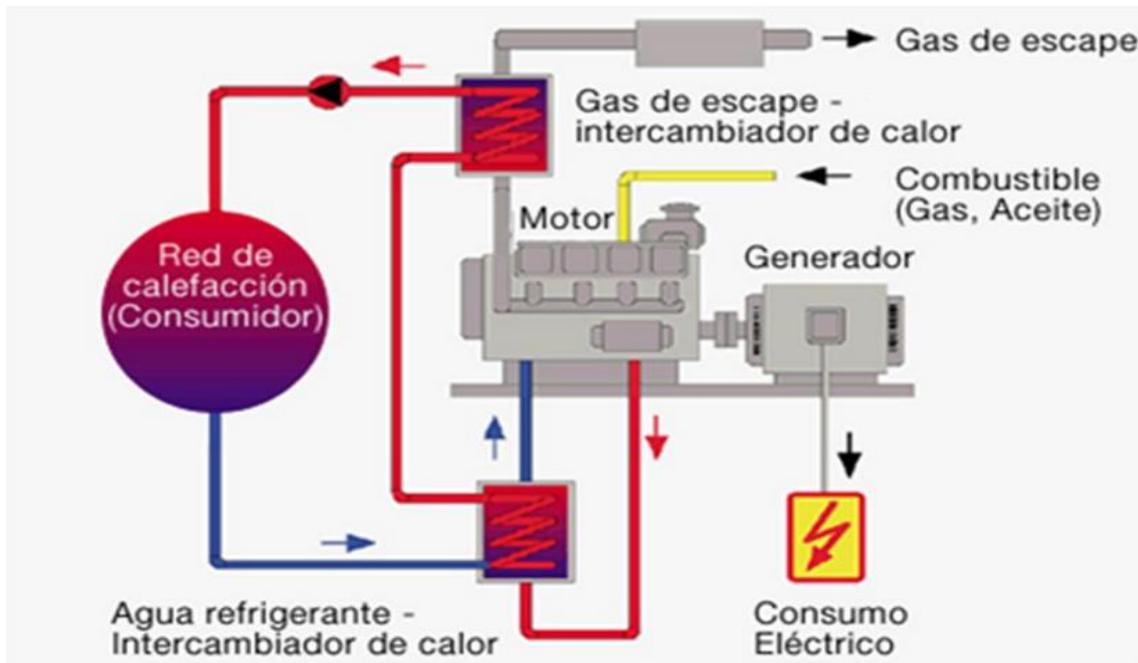


Figura I.9: Sistema de cogeneración con Motor de Combustión Interna (fuente: [www.ing.puc.cl](http://www.ing.puc.cl))

## 1.2 Microcogeneración.

No sólo las grandes plantas de cogeneración ofrecen oportunidades de inversión. Los incentivos actuales para plantas menores de 1 MW permiten este tipo de aplicaciones a pequeña escala. La microcogeneración (hasta 50 kW), con microturbinas de gas o micromotores de combustión, son aplicaciones que se han implementado con éxito en instalaciones del sector terciario tan diversas como son las correspondientes a hospitales, hoteles y oficinas, etc. Ello se debe a que los microgeneradores cubren unas gamas de potencia adecuadas para poder actuar como cogeneraciones a escala reducida, adaptándose bien a las necesidades de este tipo de establecimientos y aportándoles rendimientos competitivos y prestaciones energéticamente atractivas frente a los sistemas convencionales. (Altare 2013)

La exigencia de contribución solar mínima en el aporte energético de agua caliente sanitaria de toda nueva vivienda puede ser sustituida por otros sistemas que usen fuentes renovables o procesos de cogeneración en aquellos casos en los que no sea posible la instalación de energía solar. De este modo, en cada situación las características energéticas, físicas y operativas

determinará la viabilidad de la instalación de equipos de microgeneración o de sistemas de captación solar. (Altare 2013)

La solución basada en la generación de las necesidades de calor mediante sistemas de microgeneración para la generación de Agua Caliente Sanitaria (ACS), calefacción y frío reporta ventajas respecto a la generación de esta demanda mediante sistemas convencionales (calderas) y en muchos casos también respecto a los sistemas basados en colectores solares térmicos exclusivamente. Estas ventajas son las siguientes:

- Disponibilidad. La planta de microgeneración no depende de la climatología y garantiza el suministro energético para ACS y calefacción, incluso garantizando el consumo eléctrico en los equipos que pueden funcionar como generadores de emergencia.
- Liberación de espacio en comparación con la solar térmica y los sistemas convencionales. La planta de microgeneración ocupa unas dimensiones reducidas y no necesita invadir espacios arquitectónicamente visibles como fachadas y tejados, ya que se pueden ubicar bajo techo. La cogeneración al ser un sistema centralizado libera espacios de alto valor (interior de viviendas), ocupados por los sistemas convencionales.
- Generación distribuida de electricidad. La energía, tanto térmica como eléctrica, se genera junto al lugar de consumo, por lo que no hay pérdidas en el transporte, distribución y transformación.
- El aprovechamiento del calor y la generación de electricidad de manera eficiente reportan un ahorro de energía primaria. Esto implica un ahorro en emisiones de CO<sub>2</sub> y de otros gases de efecto invernadero. Los sistemas de generación usados en la microgeneración son principalmente microturbinas y micromotores. (Arthur 2011)

### **1.2.1 Microgeneración con motores.**

Los micromotores alternativos de combustión interna son bien conocidos por todos ya que sus aplicaciones en nuestras actividades diarias son muchísimas. Desde los pequeños generadores que se ve en los puestos de venta ambulante hasta los motores que incorporan todos los vehículos, hay un abanico de potencias en el que se incluirían los micromotores para cogeneración. La diferencia de estos motores es principalmente su rango de trabajo ya que están

diseñados para funcionar un elevado número de horas en continuo con la máxima eficiencia por lo que se trata de buscar el régimen de funcionamiento que maximice el rendimiento eléctrico. Los motores disipan calor a través de los circuitos de agua de refrigeración y de los gases de escape. En los micromotores se recuperan ambas fuentes de calor para finalmente dar toda la energía en forma de agua caliente que pueda ser usada para climatización. (Altare 2013)

### **1.2.2 Microgeneración con turbinas.**

Las microturbinas de gas son máquinas de combustión basadas en el mismo principio que las turbinas convencionales, pero simplificando los elementos mecánicos. El modo de funcionamiento de la microturbina no difiere mucho del de una turbina convencional. La diferencia principal se encuentra en el hecho de tener un ciclo de regeneración para mejorar el rendimiento eléctrico y a la ausencia de reductor para conectarse al alternador. Los gases de escape de esta tecnología tienen una temperatura de 300 °C aproximadamente que permite una recuperación térmica útil para la producción de ACS, calefacción y frío. (CONAE 1999).

### **1.3 Situación actual de los sistemas de cogeneración en el Mundo, América Latina y Cuba.**

La Agencia Internacional de la Energía estima que la potencia de cogeneración instalada a nivel global es de 330 GW y representa un 9% de la electricidad producida. Sin embargo, en las grandes economías del G8 —a excepción de Rusia—, la cuota de producción eléctrica de cogeneración es baja. Alemania es un buen ejemplo de desarrollo de cogeneración, contando con una potencia instalada de 20 000 MW y una cobertura de la demanda eléctrica con cogeneración del 12,5% y acelerando su implementación gracias a incentivos gubernamentales. (International Energy Agency 2015)

Es difícil establecer estadísticas fiables y comparables sobre la cuota de producción de cogeneración respecto a la producción total en distintos países del mundo y no todos los países recogen sistemáticamente información sobre

ello. Dinamarca es ejemplo de un país que cuenta con más del 50% de la producción eléctrica de cogeneración. (UE 2004)

Ello se debe al alto desarrollo de la energía de distrito con cogeneración, que ha contribuido notablemente a la reducción de sus emisiones de gases de efecto invernadero, existen otros países, principalmente de la zona europea que están trabajando en aras de incrementar su obtención de energía a través de la cogeneración. (fig.I.10)

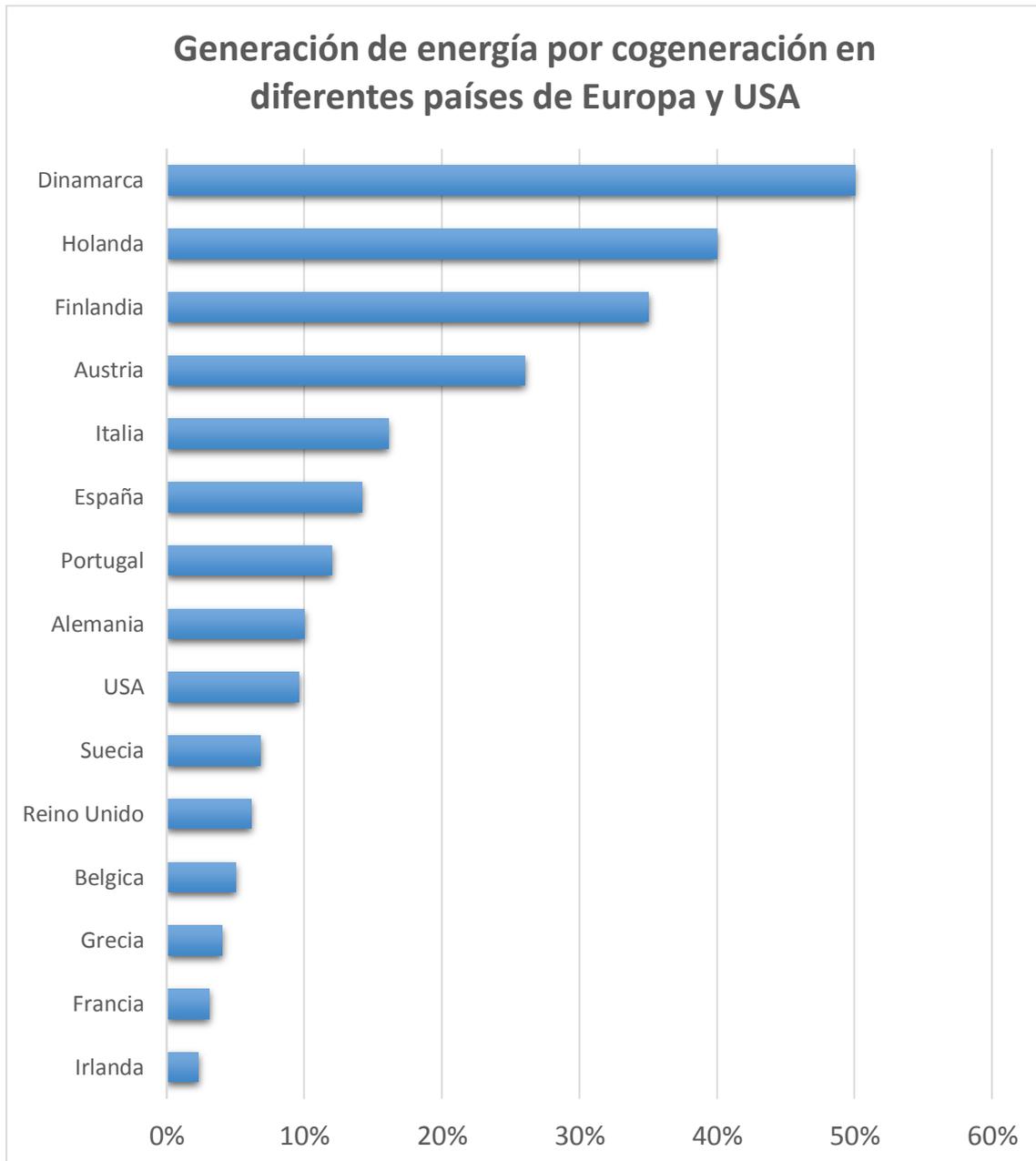


Fig. I.10: Producción en cogeneración con respecto a la producción de electricidad nacional en países europeos y Estados Unidos en %. (Fuente: [www.cogen.org](http://www.cogen.org)).

La situación en América Latina y el Caribe es diferente ya que esta región está conformada principalmente por países subdesarrollados que presentan serios problemas energéticos y de emisión de CO<sub>2</sub> a la atmósfera. La mayoría de los mismos están creando nuevas estrategias energéticas para mitigar el cambio climático, como lo son las fuentes renovables de energía y los sistemas de cogeneración. Como se observa en la figura I.11, el mayor portador energético de estos países es el petróleo crudo y sus derivados, producto que se pronostica que todas sus reservas se agotarán para 2080 (Cruz Serrano 2009).

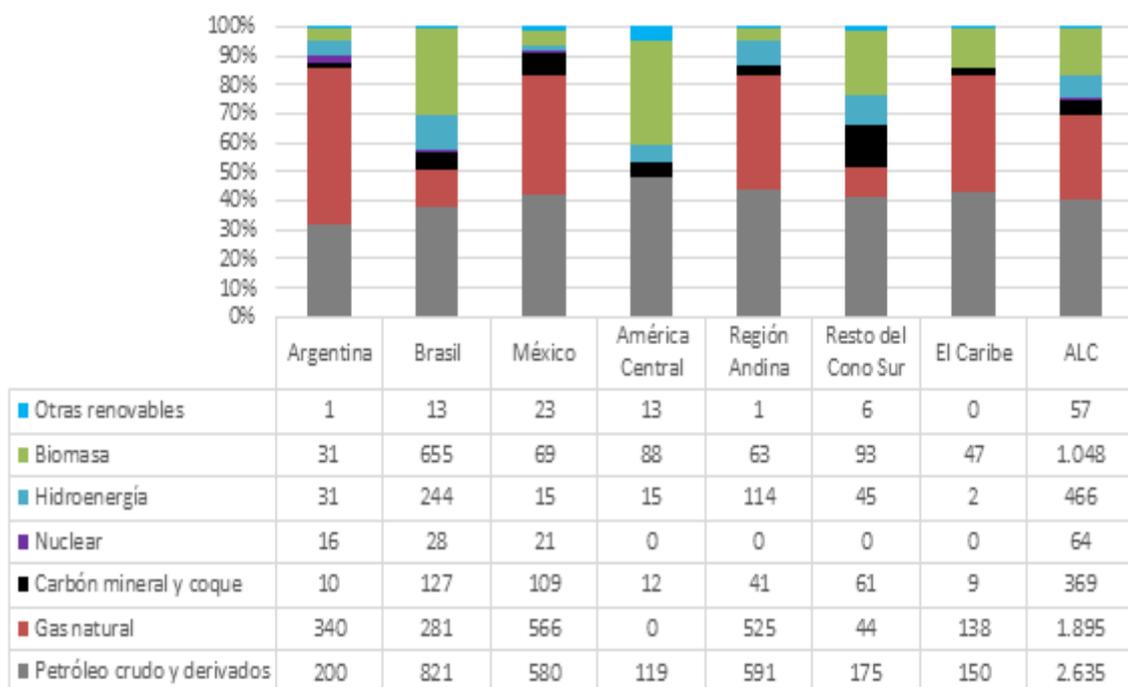


Figura I.11 Estructura de la oferta total de energía por subregión en América Latina y el Caribe (Fuente: OLADE - Anuario de Estadísticas Energéticas 2017, <http://sielac.olade.org>).

Según un estudio del Banco de Desarrollo de América Latina (CAF), en 2017, países como Brasil y Nicaragua han logrado convertir el bagazo de caña en la fuente más importante para sus procesos de cogeneración. El gigante latinoamericano, primer productor de caña en el mundo, posee aproximadamente una capacidad instalada de 3 GW de cogeneración basada en la biomasa y se estima que su potencial en cogeneración de este tipo podría

ser suficiente para suministrar la mitad de la capacidad de generación requerida por el país para los próximos 10 años. (Meza 2015)

Esta tecnología representa una opción importante para Latinoamérica en sus avances en la eficiencia energética y en la consolidación de una matriz energética limpia y sostenible en el tiempo. No obstante, aún quedan desafíos importantes para que la región ocupe los primeros puestos en eficiencia energética a nivel mundial que, según el Consejo Estadounidense por una Economía de Energía Eficiente, que a día de hoy encabezan Alemania, Dinamarca, Italia, Chile y Francia. (TEXACO 2013)

Por este motivo, CAF viene apoyando los países de América Latina para que avancen esta dirección. De este modo, se han previsto un presupuesto de USD 240.000 para apoyar a la Administración Nacional de Combustibles, Alcohol y Portland (ANCAP) para encontrar soluciones de cogeneración en su refinería de La Teja en Montevideo, Uruguay. (Meza 2015)

Los estudios planteados abarcan el proyecto de ingeniería de cogeneración empleando calderas de alta eficiencia en la refinería, a través de la evaluación de la factibilidad técnica y económica de aprovechar las corrientes residuales y el modelo de negocios para estructurar el financiamiento del proyecto. Se espera que la implementación resulte en ahorros de energía eléctrica por el orden de entre 5 y 30 GWh/año y de una reducción efectiva de emisiones de alrededor de 1 500 – 9 000 tCO<sub>2</sub>/Año. (MINEM 2018b)

Actualmente, Cuba intenta acelerar la explotación de las fuentes renovables de energía y los sistemas de cogeneración en medio de una difícil situación económica, ante la caída sostenida desde 2016 del suministro de Venezuela de petróleo a precios preferenciales, que compensan solo parcialmente Argelia y Rusia. El principal objetivo de la isla a día de hoy es cambiar su matriz energética (Figura I.12) haciéndola menos dependiente de los combustibles fósiles. (Unión Eléctrica 2018)

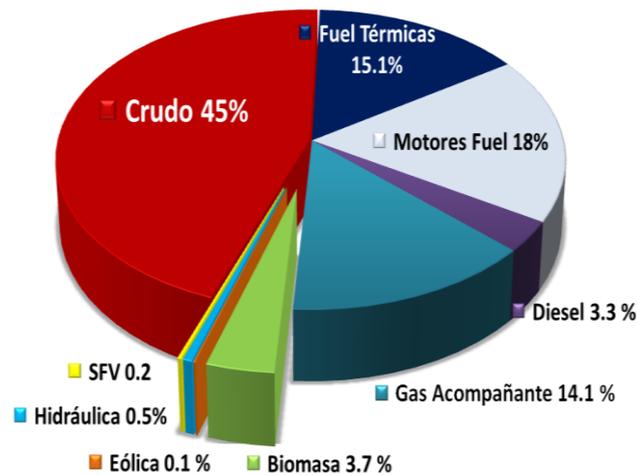


Figura I.12: Generación de electricidad por tipo de combustible en Cuba. (Unión Eléctrica 2018)

A nivel nacional solamente el 10% de la energía es por cogeneración en ingenios azucareros utilizando el bagazo como combustible y con tecnologías de turbina de contrapresión exclusivamente (Borroto 2009). Debido a la necesidad de explorar nuevas tecnologías de obtención de energía, la Isla está llevando a cabo nuevos proyectos, como lo son la Bioeléctricas en los centrales Ciro Redondo, Jesús Rabí y Héctor Rodríguez que se muestran a la figura I.13.



Figura I.13: De izquierda a derecha centrales Ciro Redondo, Jesús Rabí y Héctor Rodríguez.

Se trata de tres de las más importantes obras que se realizan en Cuba con la participación de capital extranjero. Estas bioeléctricas aportarán 102 Megawatt (MG), cuando entren en funcionamiento y se estima que costarán aproximadamente 266.4 millones de USD. Producirán electricidad con el

bagazo de caña del ingenio, y cuando finaliza la zafra utilizarán leña de marabú. (MINEM 2018b)

#### 1.4 Casos exitosos de cogeneración en hoteles.

Uno de los sectores que más implementan sistemas de cogeneración son los hoteles. Estos lo usan para mitigar sus gastos energéticos y aprovechar la energía térmica para refrigeración (trigeneración) y producción de Agua Caliente Sanitaria (ACS). A nivel mundial existen ejemplos en este sector que ha implementado esta tecnología con resultados más que satisfactorios.

##### 1.4.1 Hotel El Mesón (España)

Este es un hotel de 3 estrellas con 44 habitaciones (14 sencillas y 30 dobles) y cafetería- restaurante-piscina-discoteca (Figura I.14). El mismo posee una turbina de gas Módulo KWE20G que le brinda una potencia de 20kWe+42kWt a partir de 68kW de gas natural, la energía térmica que le genera la turbina es usada para la calefacción del hotel y el Agua Caliente Sanitaria (ACS), además en caso de no ser suficiente esta energía térmica cuentan con el apoyo de una caldera de 65 kW, pero la cogeneración es el principal generador térmico, suministrando más del 70 % de la demanda anual de calor. La energía eléctrica excedente se vende a la red nacional. (Arzos 2011)



Figura I.14: Sistema de cogeneración en Hotel El Mesón (España). (Arzos 2011)

##### 1.4.2 Hotel Altamar(Argentina)

Hotel argentino de lujo con 299 habitaciones además de Spa, gimnasio, piscina climatizada, etc. Tiene instalado un sistema de trigeneración (electricidad + frío) con máquina de absorción. La tecnología de cogeneración es una turbina de

gas módulo Senergie G926TI operando con gas licuado del petróleo (GLP). 80kWe+136kWt a partir de 243 kW de GLP, también cuenta de apoyo mediante calderas en calefacción y mediante enfriadoras convencionales en frío. (Altare 2013)



Figura I.15: Sistema de trigeneración en Hotel Altamar (Argentina). (Altare 2013)

#### Conclusiones parciales:

- 1- Los países europeos, al día de hoy, son los que más implementan los sistemas de cogeneración. Ejemplo de esto lo es Dinamarca que el 50 % de su energía eléctrica nacional la produce con estos sistemas.
- 2- No existe aún en Cuba una política que fomente el uso de esta tecnología, aunque en los lineamientos políticos y económicos de la nación ya aparece como una indicación de trabajo.
- 3- En Cuba solamente se explota esta tecnología en el sector azucarero y debido a falta de experiencia y altos costes de inversión aún no se explotado en el sector hotelero como si han hecho varios países en el mundo para elevar la eficiencia energética de estas instalaciones.
- 4- La literatura consultada refleja buenas practica del uso de esta tecnología en el sector hotelero tanto de Europa como de América, ejemplos que la industria hotelera cubana en amplia expansión debiera seguir por las grandes ventajas económicas y energéticas.

## Capítulo II: Caracterización energética del Hotel Pasacaballos.

### 2.1 Descripción general del hotel.

El “Hotel Pasacaballo” (fig. II.1) está localizado en la provincia de Cienfuegos, a 22 km del centro de dicha ciudad. Se encuentra actualmente arrendado al Grupo Hotelero Islazul S.A y ostenta la categoría 3 estrellas.



Fig. II.1: Hotel Islazul Pasacaballos.

Actualmente es destino turístico de varios cubanos y extranjeros, principalmente provenientes de Canadá, Inglaterra y Alemania. Este hotel posee una serie de características que lo hacen un lugar acogedor y la opción más económica y placentera de todas. Cuenta con una piscina, dos bares (uno en el área de la piscina y otro en el lobby). Dos restaurantes: uno en el lobby y otro especializado, que se encuentra en un subterráneo, además de un área de recreación al aire libre.

Distributivamente tiene 6 niveles, en los cuales posee 188 habitaciones climatizadas; de ellas, 8 suites, 152 dobles y 28 triples, todas ellas con baño, agua fría y caliente, ducha, teléfono, TV y caja de seguridad. La única diferencia entre habitaciones es que las dobles tienen mini bar y las triples y suites poseen refrigeradores, además de ser más espaciaosas. Estas

habitaciones tienen increíbles vistas a la bahía y la piscina, cuarto de baño con agua caliente, a partir de 50°C, balcones o terraza dependiendo del tipo de habitación.

Islazul Pasacaballo es un hotel con un toque retro que debería llamar la atención de las personas que quieren un trocito de la vieja Cuba, con facilidades que incluyen salas de juegos e internet, tienda y aparcamiento. El amplio restaurante buffet del Pasacaballo ofrece una buena variedad de alimentos frescos que se complementan con música en vivo a la hora de la cena.

También cuenta con variadas ofertas gastronómicas proporcionada por sus restaurantes especializados como lo son el Restaurante internacional " El Paisaje ", Restaurante ranchón "El Criollito", "Lobby bar", "Bar café", "Snack bar" y Restaurante " Las Golondrinas. El hotel también cuenta con animación diurna y nocturna, piscina, sala de juegos y sala de fiestas.

## **2.2 Caracterización energética.**

Dicho hotel, en función de la satisfacción del cliente, utiliza electricidad, gas licuado del petróleo, diésel y calentadores solares como portadores energéticos. (Fig. II.2)

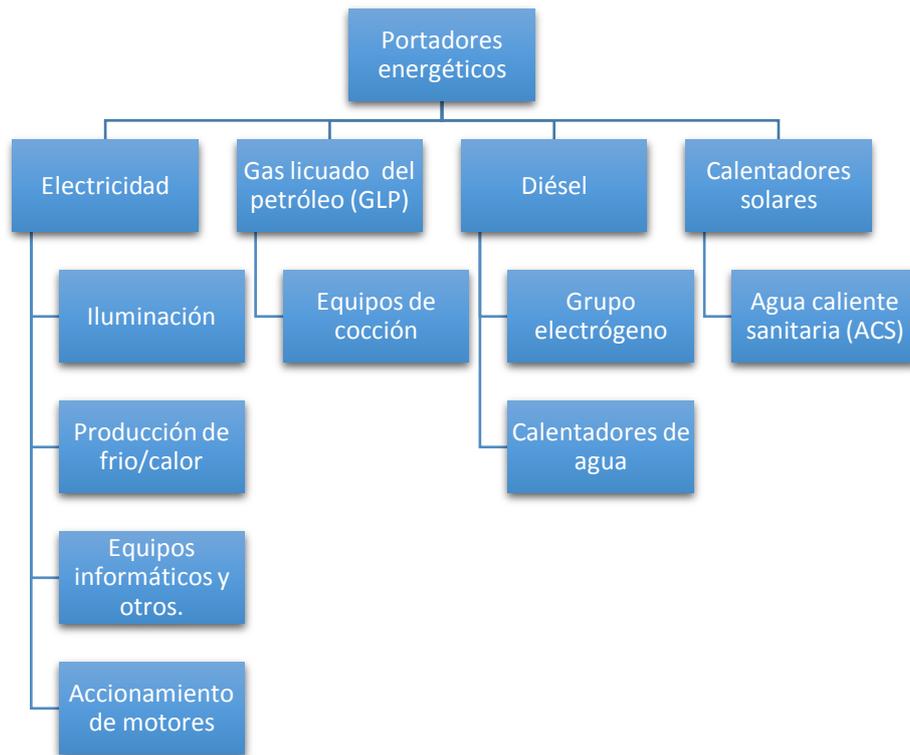


Fig. II.2: Portadores energéticos del Hotel Pasacaballos y sus diferentes usos.

Esta entidad ha sido altamente consumidora de energía en la provincia de Cienfuegos durante los años 2015-2016-2017 teniendo consumos mensuales (Anexo 1) promedio de 94 495,58 kWh, 109 357 kWh y 108 029 kWh cada año respectivamente. Se aplica además el importe por factor de potencia, que puede conllevar a una penalización o bonificación, y la posible penalización por exceder la potencia máxima contratada que en este caso es de 305 kW.

Tomando como datos los proporcionados por el energético del hotel y los factores de conversión a Toneladas Equivalente de Petróleo (CUPET 2016) se determinó que el consumo por portadores energéticos (Anexo 2) en estos años fue de 548,7, 613,6 y 631,9 TEP respectivamente como se muestran en las tablas II.1, II.2 y II.3.

Tabla II.1: Estructura de consumos por portadores en 2015

2015	u.m	Consumo	F. Conv	TEP	%	% Acumulado
<b>Electricidad</b>	MWh	1133,947	0,3502	397,1	72%	72%
<b>Solar</b>	MWh	325,62	0,3502	114,03	21%	93%
<b>Diésel</b>	l	29431	1241,48	23,7	4%	97%
<b>Gas licuado (GLP)</b>	l	29573	2132,40	13,9	3%	100%

<b>Total</b>				<b>548,7</b>	100%	
--------------	--	--	--	--------------	------	--

Tabla II.2: Estructura de consumos por portadores en 2016

<b>2016</b>	<b>u.m</b>	<b>Consumo</b>	<b>F. Conv</b>	<b>TEP</b>	<b>%</b>	<b>% Acumulado</b>
<b>Electricidad</b>	MWh	1312,287	0,3502	459,6	75%	75%
<b>Solar</b>	MWh	319,921	0,3502	112,0	18%	93%
<b>Diésel</b>	l	33157	1241,48	26,7	4%	98%
<b>Gas licuado (GLP)</b>	l	32514	2132,40	15,2	2%	100%
<b>Total</b>				<b>613,6</b>	<b>100%</b>	

Tabla II.3: Estructura de consumos por portadores en 2017

<b>2017</b>	<b>u.m</b>	<b>Consumo</b>	<b>F. Conv</b>	<b>TEP</b>	<b>%</b>	<b>% Acumulado</b>
<b>Electricidad</b>	MWh	1296,347	0,3502	454,0	72%	72%
<b>Solar</b>	MWh	331,373	0,3502	116,0	18%	90%
<b>Diésel</b>	l	60073	1241,48	48,4	8%	98%
<b>Gas licuado (GLP)</b>	l	28743	2132,40	13,5	2%	100%
<b>Total</b>				<b>631,9</b>	<b>100%</b>	

En las tablas (Tablas II.1, II.2 y II.3) se puede observar claramente que la electricidad es el portador de mayor demanda con 397,1; 459,6 y 454 TEP representando el 72% en 2015, 74% en 2016 y el 71% en 2017 como se pueden observar en las figuras II.3 , II.4 y II.5. En las mismas también se aprecia que el menor portador es el GLP y que el diésel en los años 2015-2016 representó el 5 % del total de portadores, sin embargo, debido al Huracán “Irma”, que azotó gran parte de la isla de Cuba en 2017, el grupo electrógeno de este hotel tuvo que apoyar al Sistema Eléctrico Nacional (SEN) y es por eso que se observa que en este año el diésel representó el 8% de los portadores energéticos.

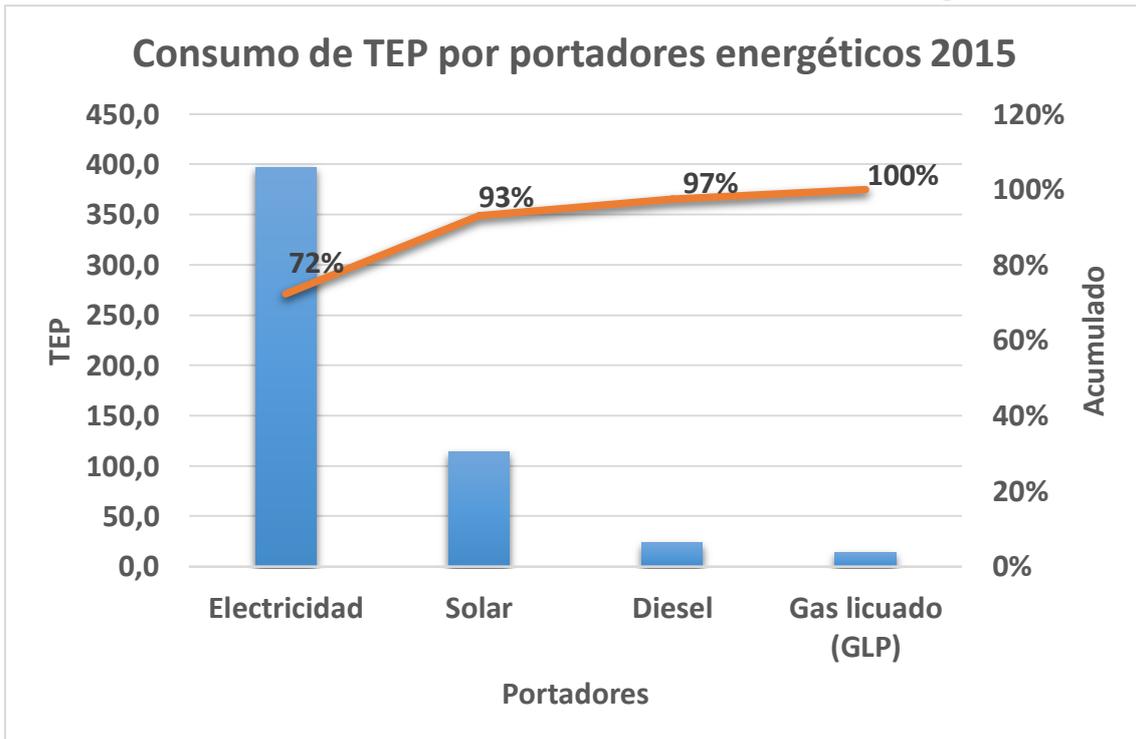


Fig. II.3: Consumo de TEP por portadores energéticos 2015.

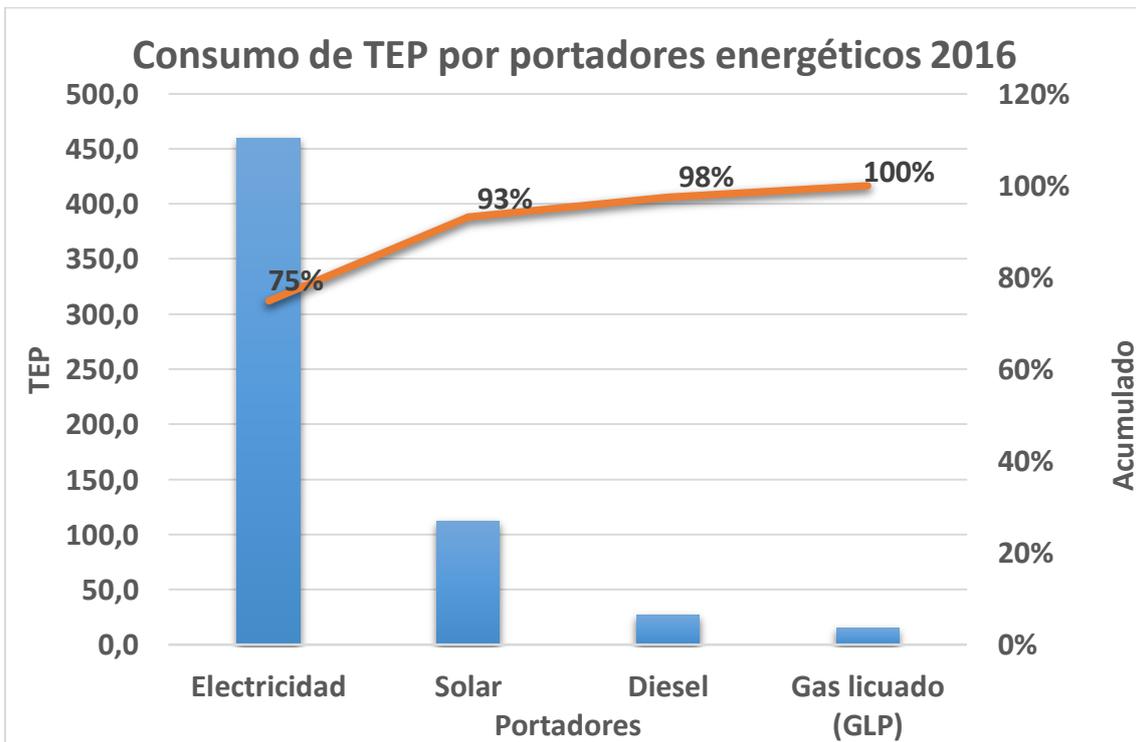


Fig. II.4: Consumo de TEP por portadores energéticos 2016.

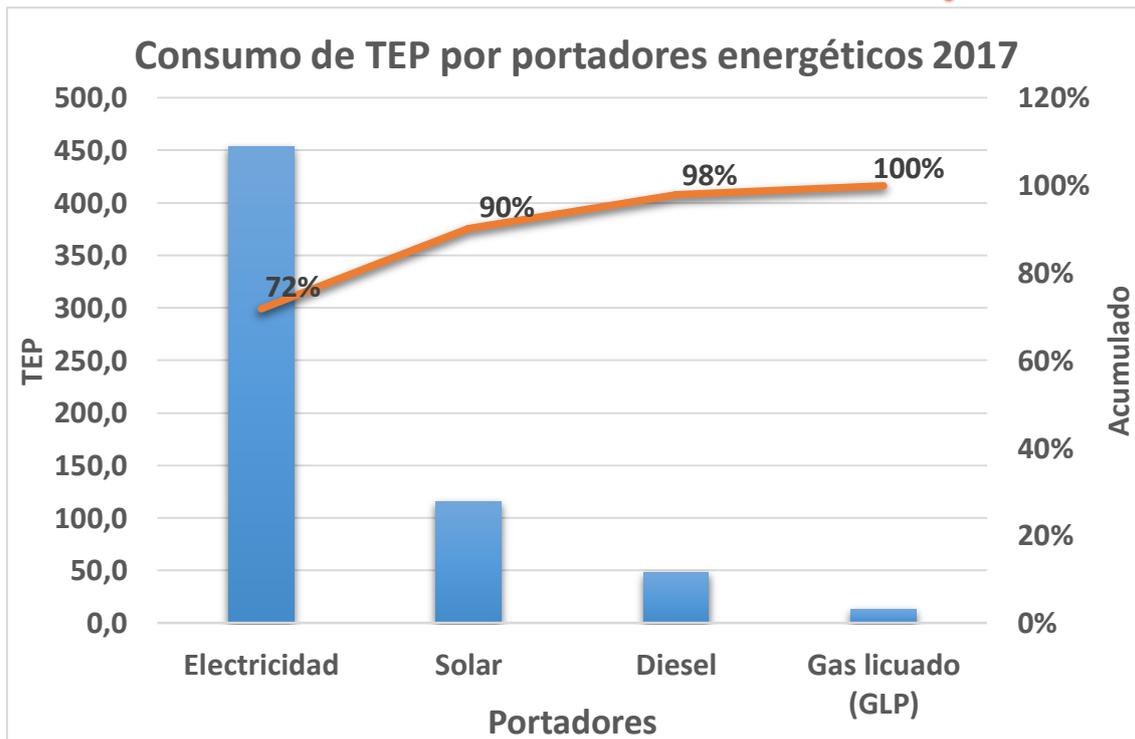


Fig. II.5: Consumo de TEP por portadores energéticos 2017.

### 2.2.1 Determinación de áreas de trabajo con uso significativo de energía.

Para realizar el censo de equipos eléctricos se hizo necesaria la elaboración de un inventario de todos los equipos consumidores de energía eléctrica del hotel. Para cada área, se determinó la potencia unitaria (kW), tiempo de uso al día (h/día), energía diaria (kWh/día) y mensual (kWh/mes), además de la cantidad de equipos. Esto se hace debido a que es necesario saber la potencia instalada (kW) por áreas y poder igualmente estimar la cantidad de energía eléctrica que se está consumiendo en el hotel multiplicando la potencia unitaria de cada equipo por la cantidad existente de los mismo y las horas de uso. A continuación, en las tablas II.4A, II.4B, II.4C, II.4D, II.4E, II.4F se detallan estas áreas.

Tabla II.4A: Inventario de equipos consumidores de energía eléctrica en el módulo habitacional.

Equipo	Cantidad	Potencia (kW)	Potencia Total(kW)	Horas/día	E.E estimada kWh/día	E.E estimada kWh/mes
Aire Acondicionado Genaire	97	1,055	102,335	10	1023,35	30 700,5
Aire Acondicionado LG	15	1,1	16,5	10	165	4 950
Aire Acondicionado Vince	14	1,4	19,6	10	196	5 880

Aire Acondicionado Chigo	36	1,38	49,68	10	496,8	14 904
Aire Acondicionado Miller	25	1,5	37,5	10	375	11 250
Aire Acondicionado Mirage	37	1,25	46,25	10	462,5	13 875
Minibar Vince	152	0,15	22,8	16	547,2	16 416
Refrigerador LG	36	0,35	12,6	16	302,4	9 072
TV LG	152	0,035	5,32	8	42,56	1 276,8
TV Panda	36	0,028	1,008	8	8,064	241,92
Bombillos Magnum para mesa de noche	304	0,015	4,56	10	45,6	1 368
Lámpara de closet	188	0,02	3,76	5	18,8	564
Bombillos	2135	0,015	32,025	10	320,25	9 607,5
<b>Total</b>	-	-	<b>353,938</b>	-	<b>4 208,194</b>	<b>120 105,72</b>

Tabla II.4B: Inventario de equipos consumidores de energía eléctrica en las oficinas administrativas.

Equipo	Cantidad	Potencia (kW)	Potencia total (kW)	Horas/día	E.E estimada kWh/día	E.E estimada kWh/mes
Bombillos	17	0,011	0,187	8	1,496	44,88
PC	15	0,22	3,3	8	26,4	792
Impresoras	10	0,016	0,16	2	0,32	9,6
Ventiladores	2	0,025	0,05	8	0,4	12
Split	1	2,4	2,4	8	19,2	576
Split	1	1,8	1,8	8	14,4	432
Split	1	1,2	1,2	8	9,6	288
Lámparas	20	0,04	0,8	8	6,4	192
Lámparas	120	0,02	2,4	8	19,2	576
AA ventana	6	1,2	7,2	6	43,2	1296
AA ventana	3	0,85	2,55	6	15,3	459
AA ventana	1	1,8	1,8	6	10,8	324
Fotocopiadora	1	0,2	0,2	2	0,4	12
PC	3	0,22	0,66	24	15,84	475,2
AA ventana	3	1,2	3,6	19	68,4	2052
Transmisión TV	1	0,515	0,515	24	12,36	370,8
Equipos ETECSA	1	0,182	0,182	24	4,368	131,04
Refrigerador	1	0,2	0,2	18	3,6	108
Servidor	1	0,5	0,5	24	12	360
<b>Total</b>	-	-	<b>29,704</b>	-	<b>283,684</b>	<b>8510,52</b>

Tabla II.4C: Inventario de equipos consumidores de energía eléctrica en la sala de bombas.

Equipo	Cantidad	Potencia (kW)	Potencia total (kW)	Horas/día	E.E estimada kWh/día	E.E estimada kWh/mes
Bomba	2	0,897	1,794	24	43,056	1291,68
Bomba	2	1,5	3	24	72	2160
Bomba	6	0,333	1,998	24	47,952	1438,56
Bomba	2	7,6	15,2	6	91,2	2736
Bomba	2	4,5	9	6	54	1620
Lámparas	10	0,04	0,4	12	4,8	144
<b>Total</b>	-	-	<b>31,392</b>	-	<b>313,008</b>	<b>9390,24</b>

Tabla II.4D: Inventario de equipos consumidores de energía eléctrica en cocina-comedor.

Equipo	Cantidad	Potencia (kW)	Potencia total (kW)	Horas/día	E.E estimada kWh/día	E.E estimada kWh/mes
Hornos panadería	1	16	16	14	224	6720
Amasadora	1	2,2	2,2	4	8,8	264
Batidora	1	1,1	1,1	4	4,4	132
Lámparas	120	0,02	2,4	24	57,6	1728
Lámparas	44	0,02	0,88	24	21,12	633,6
Bombillos	11	0,011	0,121	24	2,904	87,12
Rebanadora vegetales	1	0,150	0,15	1	0,15	4,5
Lasqueadora	1	0,37	0,37	1	0,37	11,1
Lavavajillas	1	15	15	6	90	2700
Mesa caliente	1	2,2	2,2	10	22	660
PC	2	0,22	0,44	24	10,56	316,8
Impresora	1	0,016	0,016	2	0,032	0,96
Hielera	1	1,1	1,1	16	17,6	528
AA ventana	1	1,2	1,2	16	19,2	576
AA ventana	1	0,85	0,85	16	13,6	408
Cámaras frías de congelación	4	1,4	5,2	16	83,2	2496
Cámaras frías de mantenimiento	4	1,4	5,6	14	78,4	2352
Split	4	2,4	9,6	18	172,8	5184
Hornos	1	8,9	8,9	4	35,6	1068
Lámparas	40	0,04	1,6	8	12,8	384
Mesa caliente	1	4,6	4,6	4	18,4	552
Split	4	3,6	14,4	6	86,4	2592
Mesa fría	1	0,43	0,43	10	4,3	129
Tostadora	1	1,8	1,8	6	10,8	324
Dispensadora	1	0,43	0,43	6	2,58	77,4

de cerveza						
Dispensadora de agua	1	0,35	0,35	10	3,5	105
Bombillos	60	0,011	0,66	24	15,84	475,2
<b>Total</b>	-	-	<b>97,597</b>	-	<b>1016,956</b>	<b>30508,68</b>

Tabla II.4E: Inventario de equipos consumidores de energía eléctrica en el salón de fiestas.

Equipo	Cantidad	Potencia (kW)	Potencia total (kW)	Horas/día	E.E estimada kWh/día	E.E estimada kWh/mes
Bombillos LED 64 Pax	8	0,18	1,44	0,75	1,08	32,4
Laser 4 rayos	2	0,04	0,08	0,75	0,06	1,8
Bafles	1	0,5	0,5	20	10	300
Computadora	1	0,22	0,22	20	4,4	132
Consola de audio	1	0,02	0,02	20	0,4	12
Split	1	2,1	2,1	14	29,4	882
Lámpara	1	0,04	0,04	12	0,48	14,4
Ecuilizador	1	0,03	0,03	20	0,6	18
Dispensador de cerveza	1	0,43	0,43	16	6,88	206,4
Bombillos	30	0,012	0,36	12	4,32	129,6
Lámparas	4	0,045	0,18	3	0,54	16,2
<b>Total</b>	-	-	<b>5,4</b>	-	<b>58,16</b>	<b>1744,8</b>

Tabla II.4F: Inventario de equipos consumidores de energía eléctrica en el ranchón y la piscina.

Equipo	Cantidad	Potencia (W)	Potencia total (kW)	Horas/día	E.E estimada kWh/día	E.E estimada kWh/mes
Horno Zanussi	1	5,2	5,2	20	104	3120
Plancha sandwichera doble	1	1,95	1,95	18	35,1	1053
Hielera	1	1	1	18	18	540
Dispensador cerveza	1	0,32	0,32	14	4,48	134,4
Lámparas	10	0,015	0,15	12	1,8	54
Lámparas	1	0,04	0,04	12	0,48	14,4

Lámparas	2	0,02	0,04	12	0,48	14,4
<b>Total</b>	-	-	<b>8,7</b>	-	<b>164,34</b>	<b>4930,2</b>

Tabla II.4G: Inventario de equipos consumidores de energía eléctrica en el Bar-Café.

Equipo	Cantidad	Potencia (W)	Potencia total (kW)	Horas/día	E.E estimada kWh/día	E.E estimada kWh/mes
Lámparas	10	0,01	0,1	12	1,2	36
Lámparas	2	0,02	0,04	12	0,48	14,4
Plancha sandwichera doble	1	1,95	1,95	18	35,1	1053
Dispensador de cerveza	1	0,43	0,43	16	6,88	206,4
Hielera	1	1	1	18	18	540
Split	2	2,1	4,2	18	75,6	2268
Tostadora	1	1,8	1,8	6	10,8	324
Cafeteras	3	1,2	3,6	10	36	1080
<b>Total</b>	-	-	<b>13,12</b>		<b>184,06</b>	<b>5521,8</b>

Tabla II.4H: Inventario de equipos consumidores de energía eléctrica en el Snack-Bar.

Equipo	Cantidad	Potencia (kW)	Potencia total (kW)	Horas/día	E.E estimada kWh/día	E.E estimada kWh/mes
Lámparas	10	0,01	0,1	12	1,2	36
Lámparas	2	0,02	0,04	12	0,48	14,4
Plancha sandwichera doble	1	1,95	1,95	20	39	1170
Dispensador de cerveza	1	0,43	0,43	16	6,88	206,4
Hielera	1	1	1	18	18	540
Mesa caliente	1	2,5	2,5	4	10	300
Tostadora	2	1,8	3,6	6	21,6	648
<b>Total</b>	-	-	<b>9,62</b>	-	<b>97,16</b>	<b>2914,8</b>

Tabla II.4I: Potencia instalada en el hotel y energía eléctrica estimada mensual.

<b>Potencia instalada en el hotel (KW)</b>	<b>550</b>
<b>Energía Eléctrica estimada mensual (kWh)</b>	<b>190 000</b>

Con la ayuda del censo de cargas, se determinaron las áreas donde había una mayor potencia instalada con el objetivo de saber dónde existe un mayor consumo energético.

Tabla II.4: Potencia instalada por áreas del hotel.

Potencia instalada por Áreas en el Hotel				
Áreas	U.M	Potencia	%	%Acum
Módulo Habitacional	kW	354	65%	65%
Cocina-Comedor	kW	96	18%	82%
Bombas piscina	kW	31	6%	88%
Oficinas Administrativas	kW	29,7	5%	93%
Bar - Café	kW	13,1	2%	96%
Snack Bar	kW	9,6	2%	97%
Ranchón	kW	8,7	2%	99%
Salón de fiestas	kW	5,4	1%	100%
<b>TOTAL</b>	kW	<b>547,5</b>	<b>100,00%</b>	

Potencia eléctrica instalada por áreas del hotel.

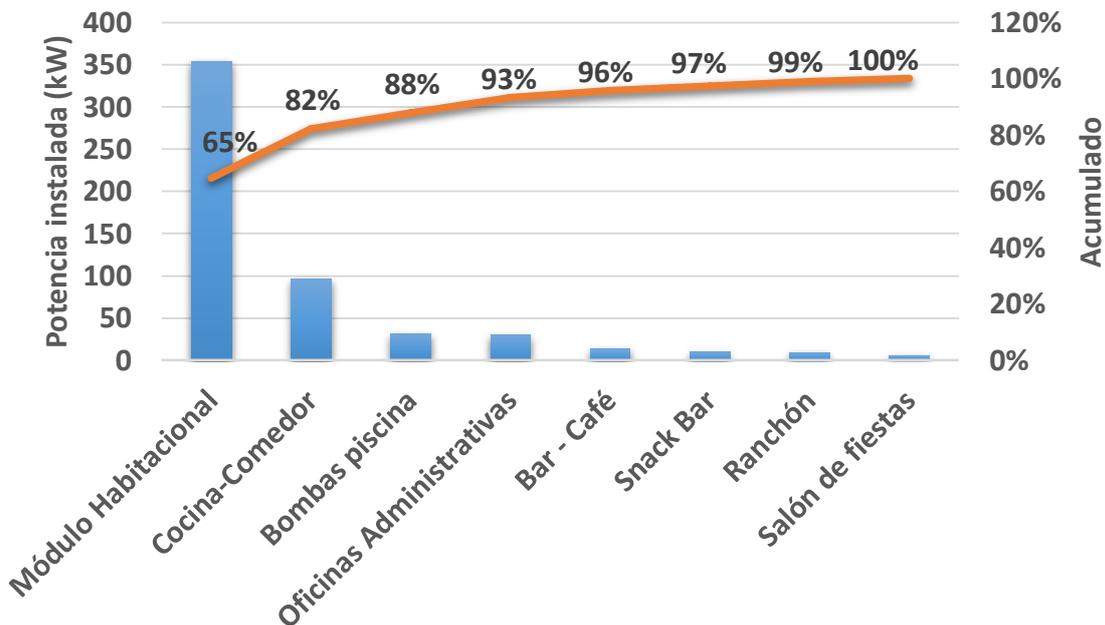


Fig. II.6: Estratificación de la potencia instalada por áreas del hotel.

Como se muestra en la tabla II.4 y Fig. II.6 más del 80 por ciento de la potencia eléctrica instalada recae sobre dos áreas principales, Módulo Habitacional y Cocina-Comedor con 65% y 17% respectivamente, ambos lugares representan el 82% del consumo total del Hotel Pasacaballo convirtiéndose así en los lugares donde se encuentran las mayores potencialidades de ahorro.

### 2.2.2 Comportamiento del consumo de energía eléctrica por horarios.

Para el análisis del comportamiento energético del hotel Pasacaballos en los años 2015; 2016 y 2017 en los diferentes horarios, se realizaron gráficos de energía eléctrica facturada y de energías eléctricas en horarios registrados por día (5:00-17:00), pico (17:00-21:00) y madrugada (21:00-5:00) con el objetivo de conocer los rangos de valores eléctricos que consume la instalación para el desarrollo de su actividad. Estas conductas muestran mediante registros mensuales y anuales si el hotel responde en el mismo rango de electricidad. La figura II.7 describe este comportamiento en los tres años, y se puede observar cómo se mantiene muy parecido el consumo por horarios a excepción del consumo en el horario pico en 2017 que disminuyó un 4% y 5% con respecto a 2015 y 2016 respectivamente.

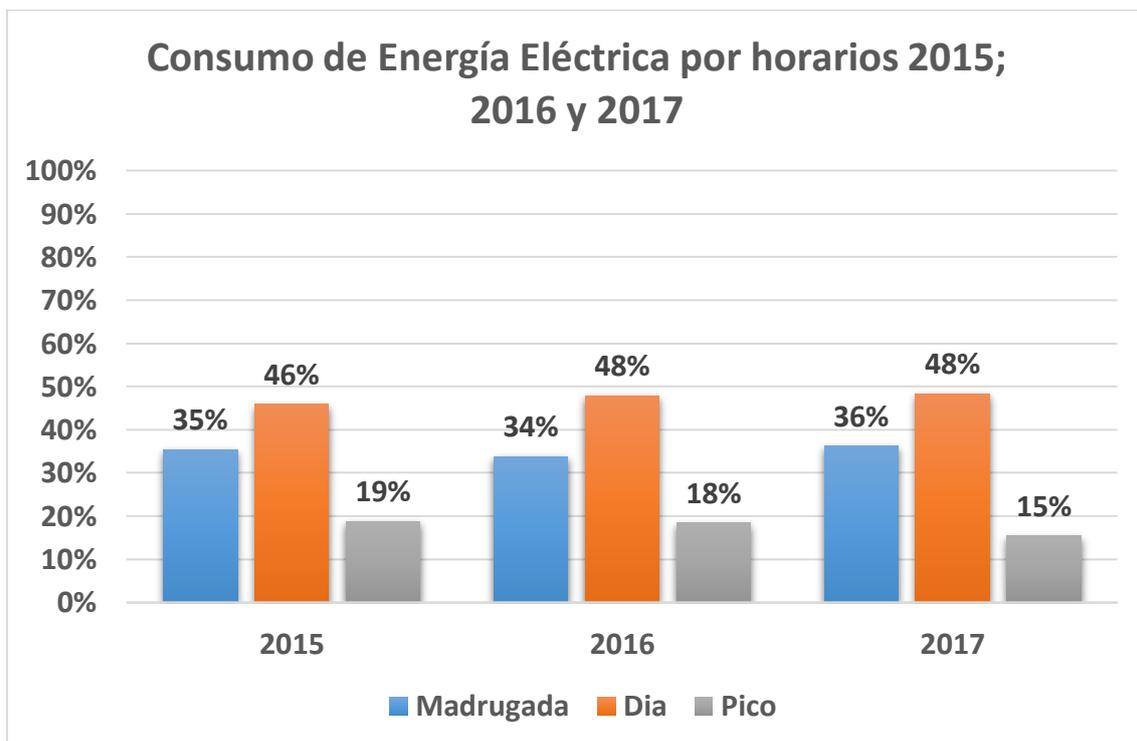


Fig. II.7: Consumo de energía eléctrica por horarios en 2015; 2016 y 2017.

### 2.2.3 Comportamiento del consumo de energía eléctrica por años.

La figura II.8 muestra el consumo de energía eléctrica a lo largo de 2015; 2016 y 2017 y como se puede apreciar los meses de mayor consumo son julio de 2016 y agosto de 2017 y esto es debido a que las temperaturas medias de dichos meses fueron las más altas de ambos años, teniendo como valor 27,3

°C y 27,5 °C respectivamente como se pueden apreciar en las figuras II.13 y II.14.

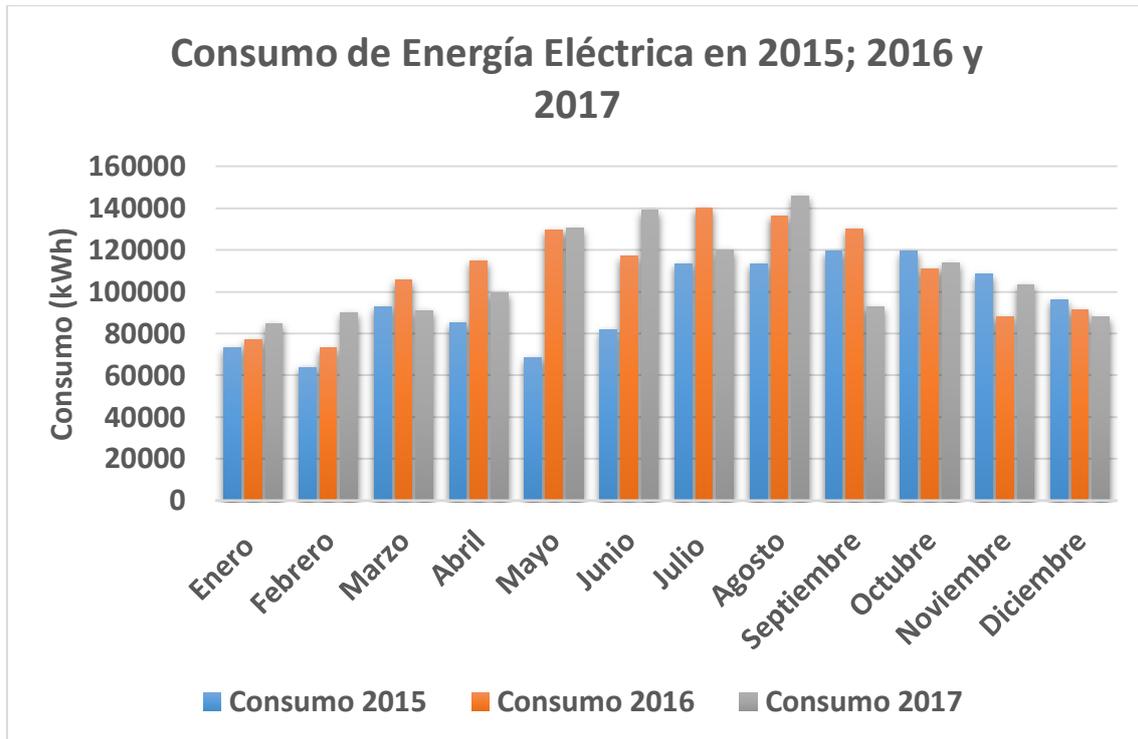


Fig. II.8 Consumo de energía eléctrica en 2015; 2016 y 2017.

#### 2.2.4 Relación entre los consumos de energía y el nivel ocupacional.

La figura II.9, II.10 y II.11 muestran que no siempre existe una relación directamente proporcional entre el consumo de energía eléctrica y el número de Habitaciones Días Ocupadas (HDO) (Anexo 3). El crecimiento del consumo de energía eléctrica en los meses de verano, independiente del valor del número de habitaciones ocupadas, corrobora el hecho de la influencia de la temperatura ambiental en el consumo de energía del sistema de climatización, principal consumidor de electricidad en el Hotel.

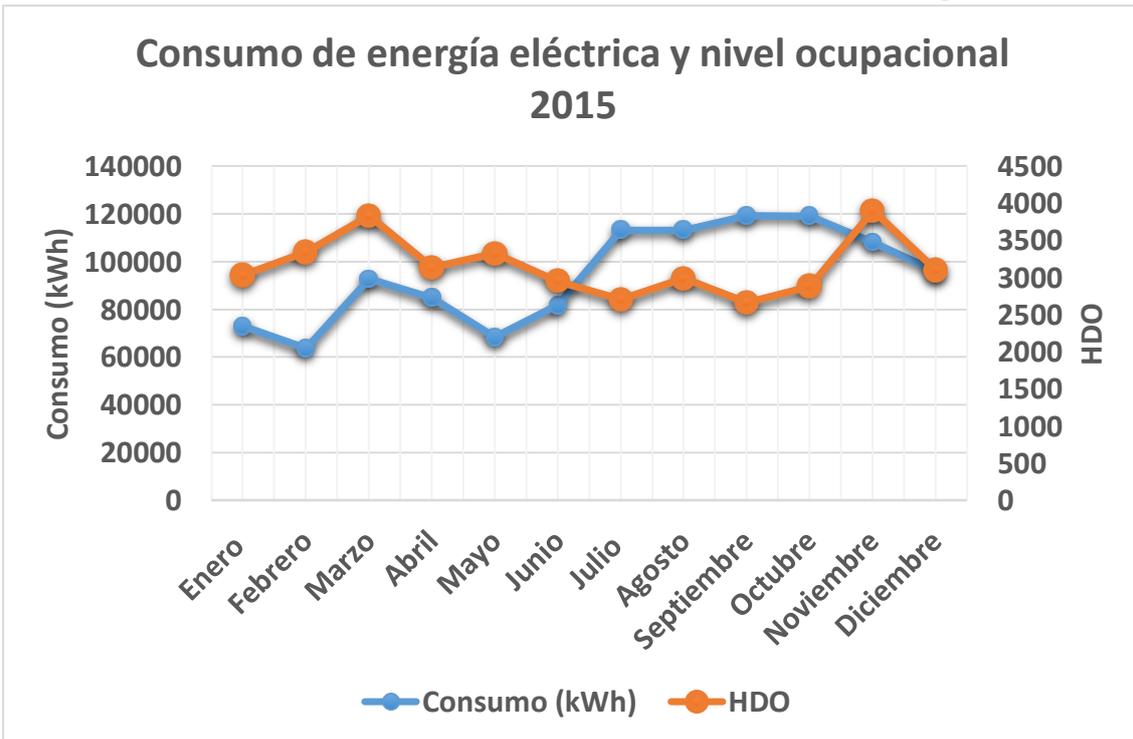


Fig. II.12: Gráfico de consumo de energía eléctrica y nivel ocupacional 2015

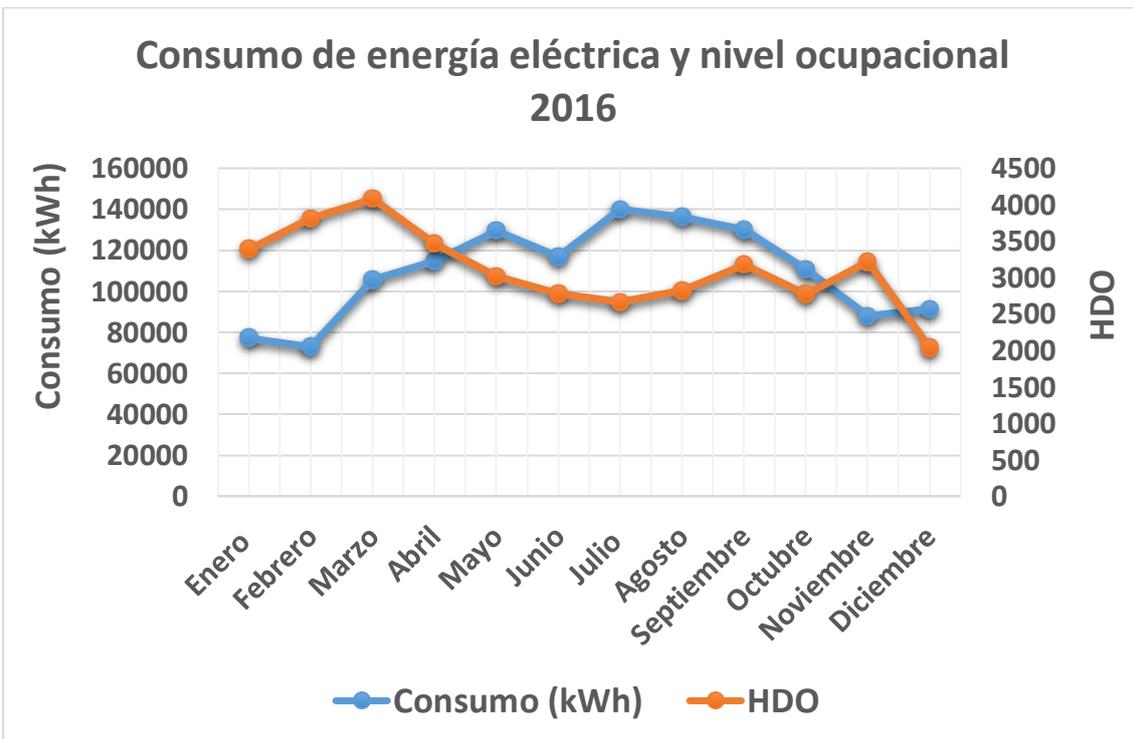


Fig. II.13: Gráfico de consumo de energía eléctrica y nivel ocupacional 2016

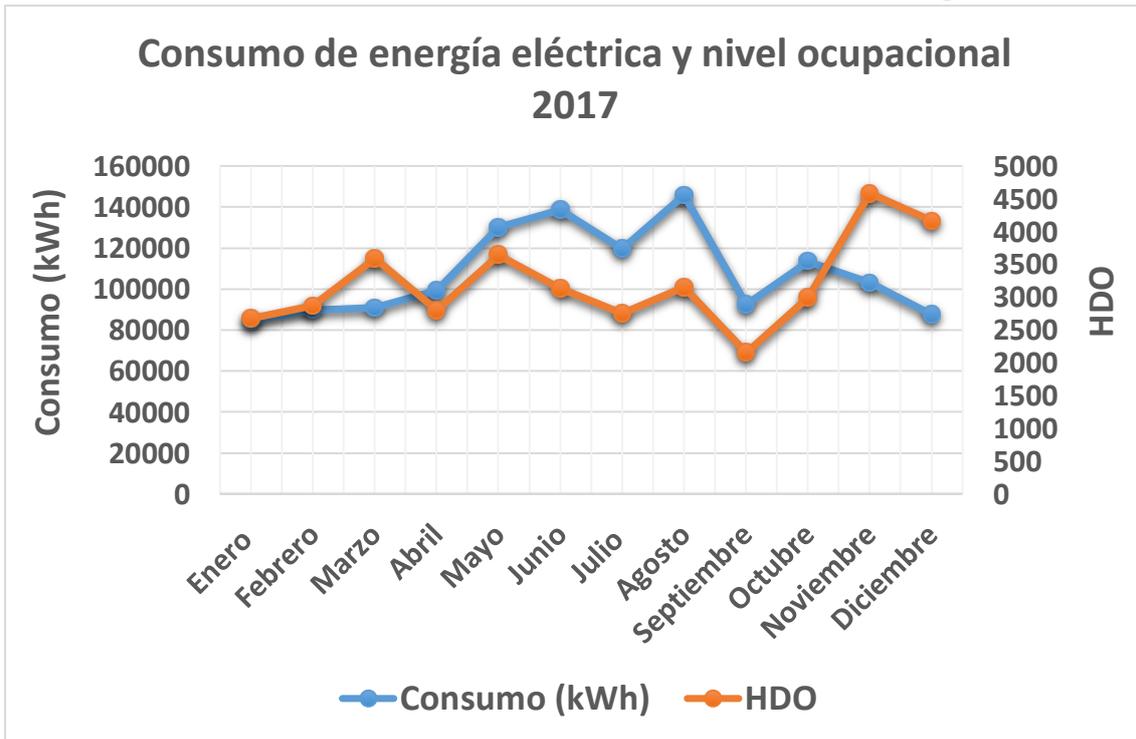


Fig. II.14: Gráfico de consumo de energía eléctrica y nivel ocupacional 2017

### 2.2.5 Relación entre las temperaturas ambientales y el consumo de energía eléctrica.

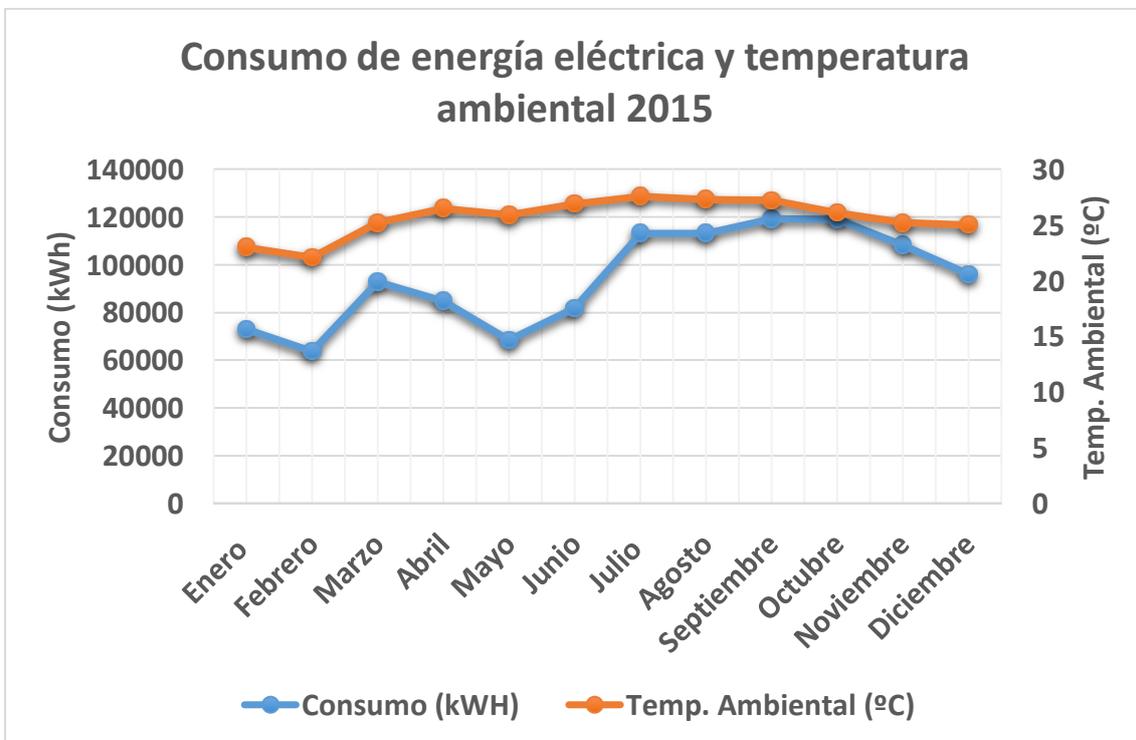


Fig. II.12: Gráfico de consumo de energía eléctrica y temperatura ambiental 2015

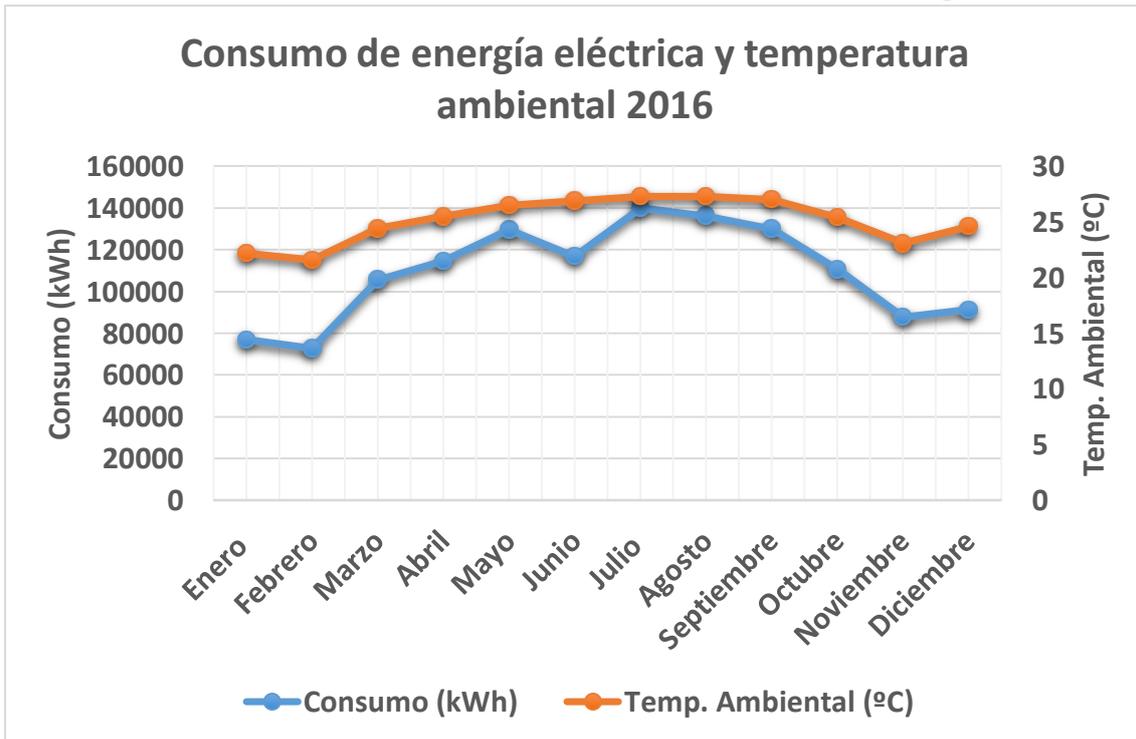


Fig. II.13: Gráfico de consumo de energía eléctrica y temperatura ambiental 2016.

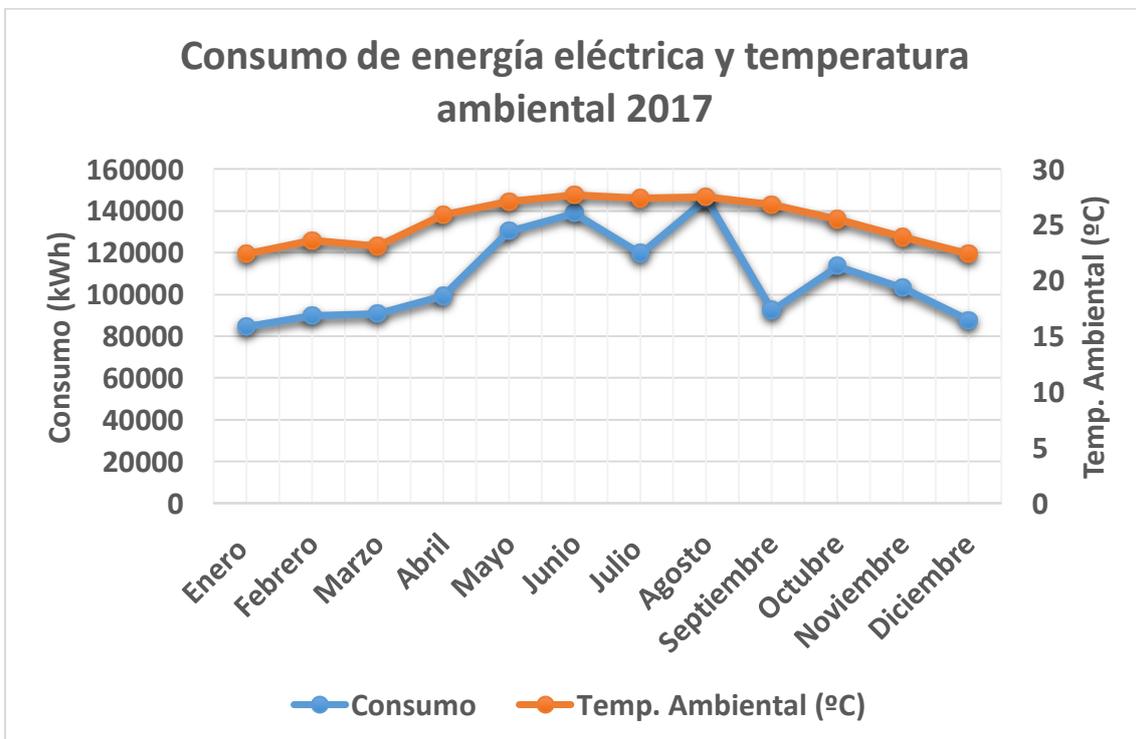


Fig. II.14: Gráfico de consumo de energía eléctrica y temperatura ambiental 2017

Con los datos de temperaturas medias mensuales para los años 2015-2016-2017 proporcionado por el Instituto Meteorológico de Cienfuegos (Anexo 4) se realizaron las figuras II.12, II.13 y II.14, y en estas se observan que, si existe una relación directa entre el consumo y la temperatura ambiental, solamente estos no se comportan de igual manera en marzo-abril de 2015, mayo-junio de 2016 y en septiembre-octubre de 2017 y en todos los casos es debido a la abrupta disminución del nivel ocupacional del hotel.

### 2.2.6 Gráficos de control.

Estos gráficos son diagramas lineales que permiten observar el comportamiento del consumo energético en función del tiempo. Se usan como instrumento de autocontrol y resultan muy útiles ya que permite detectar en que mes o meses analizados se producen alteraciones en el consumo energético. Para la elaboración de dichos gráficos se necesitan saber los consumos de energía en los meses analizados y las desviaciones estándar que se calculan en las ecuaciones II.1 y II.2.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (ec. II. 1)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (ec. II. 2)$$

Donde:

- $\bar{x}$  y  $\sigma$  se definen como la media y la desviación estándar de la variable estudiada respectivamente.
- $n$  = número de datos.
- $x$  = datos (consumo).

También se hace necesario determinar los límites de control superior (LCS) e inferior (LCI), ambos se afectarán por dos veces la desviación estándar debido a que ya se han realizado estudios previos en la instalación por lo tanto los parámetros deben estar en control:

$$LCS = x + 2\sigma \quad (ec. II. 3)$$

$$LCI = x - 2\sigma \quad (ec. II. 4)$$

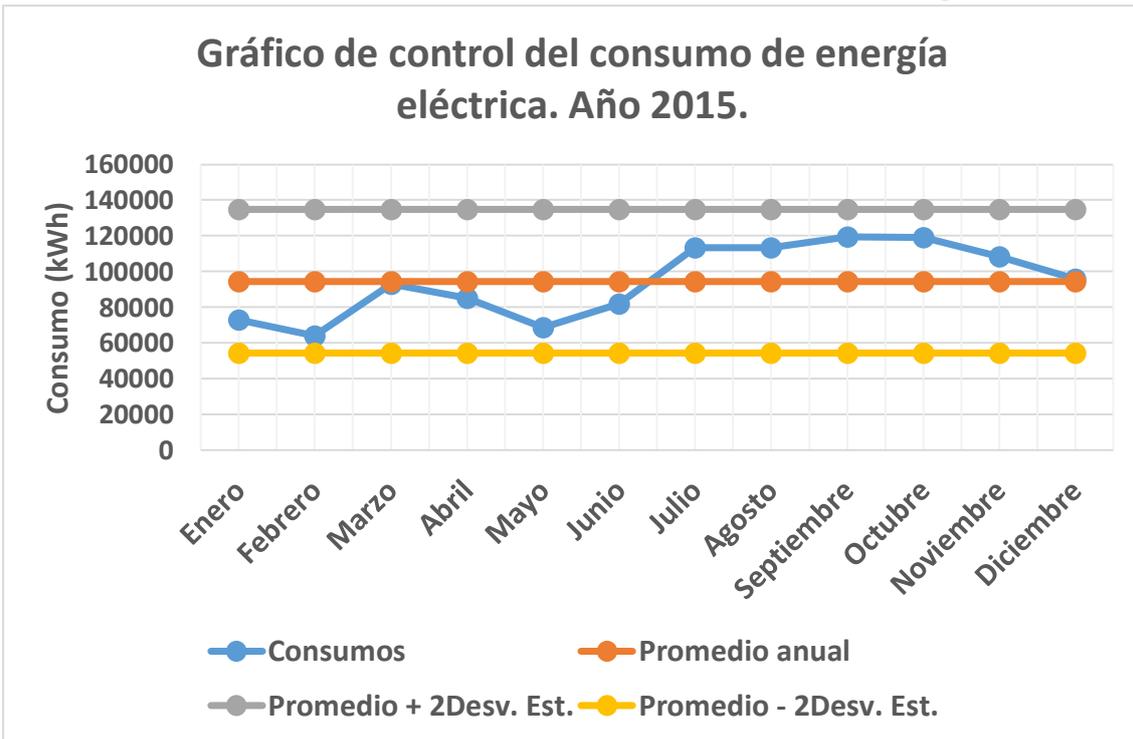


Fig. II.15: Gráfico de control del consumo energía eléctrica 2015

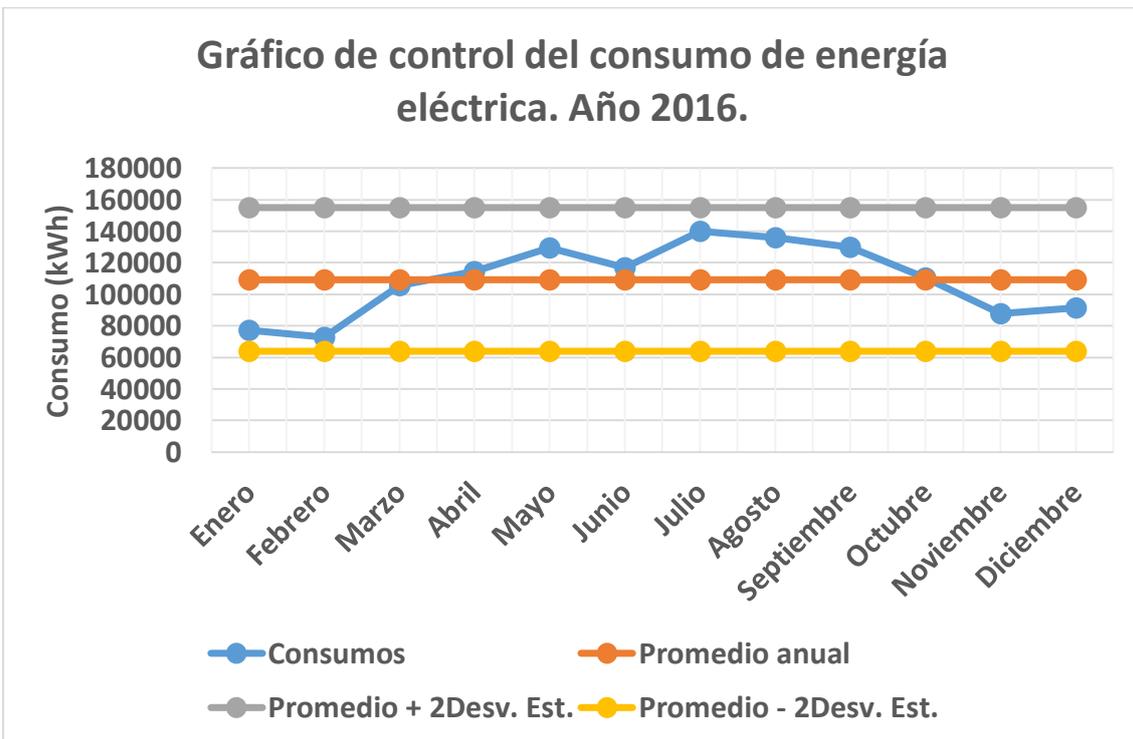


Fig. II.16: Gráfico de control del consumo energía eléctrica 2016

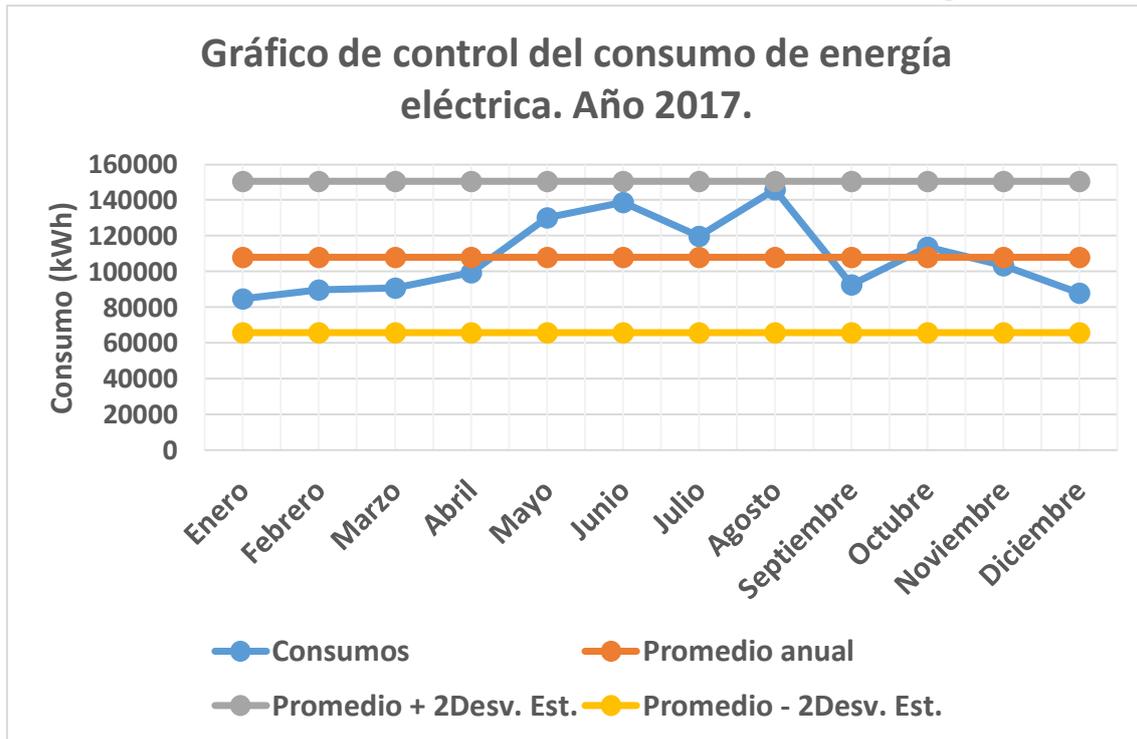


Fig. II.17: Gráfico de control del consumo energía eléctrica 2017

En las figuras (II.15, II.16, II.17) se aprecia como el consumo se comporta de manera controlada entre los límites superior e inferior establecidos con anterioridad.

### 2.2.7 Gráficos de consumo de energía vs producción.

El gráfico de dispersión permite apreciar la correlación existente entre el consumo de electricidad y nivel de ocupación por días grado (DG), esta última variable es un indicador con el que se trabaja en los hoteles ya que tiene en cuenta el consumo habitacional y la temperatura. Para la realización de este gráfico se construye la recta que responde a la ecuación:

$$E = m * (HDO * DG) * E_0 \text{ (ec. II.5)}$$

Donde:

- E: consumo de energía en el periodo seleccionado.
- HDO\*DG: habitación día ocupada por días grado
- m: pendiente de la recta que significa la razón de cambio del consumo de energía respecto a la HDO.

- $E_0$ : intercepto de la línea en el eje y, que representa la energía no asociada al proceso productivo.
- $m \cdot (HDO \cdot DG)$ : es la energía utilizada en el proceso productivo.

Los DG se pueden determinar haciendo uso de la ecuación II.6.

$$DG(t_{ref}) = (1\text{day}) \sum_{n=1}^{\infty} (t_0 - t_{ref}) \quad \text{ec. II.6}$$

Donde:

$t_0$  = Valor de la temperatura exterior.

$t_{ref}$  = 18.3 °C (temperatura promedio en edificios típicos).

Ambos comportamientos se muestran en los diagramas de dispersión que aparecen en las figuras II.18, II.19, II.20 y II.21.

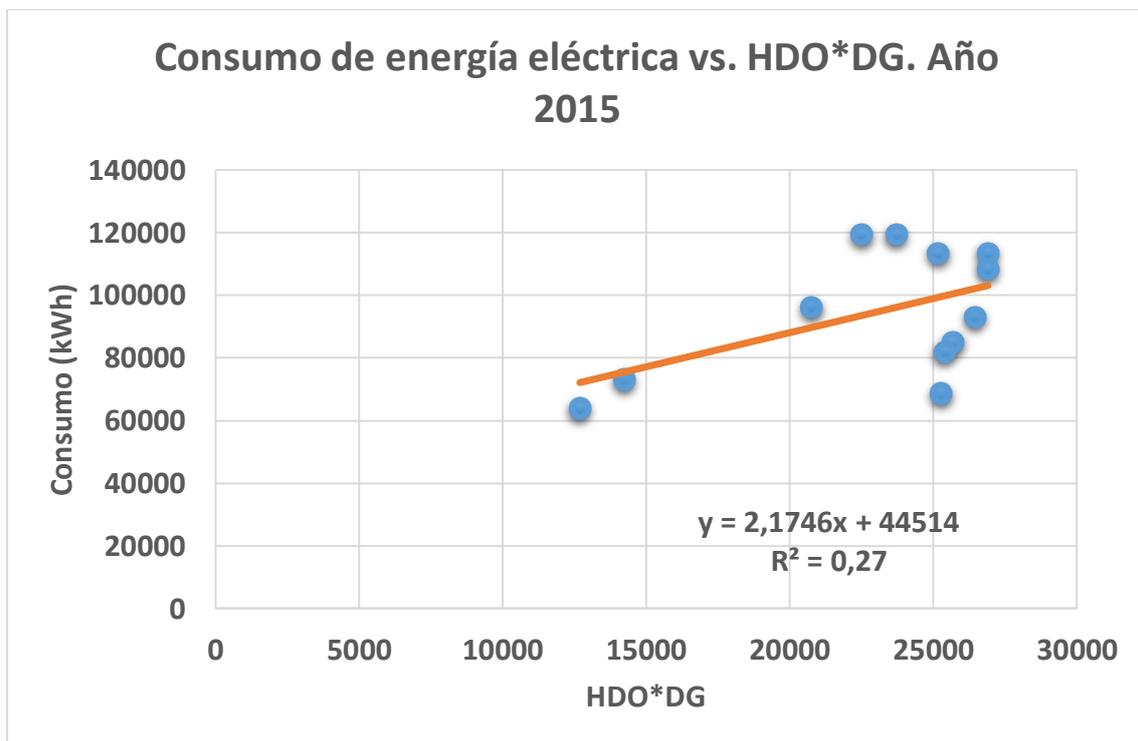


Fig. II.18: Gráfico de correlación 2015.

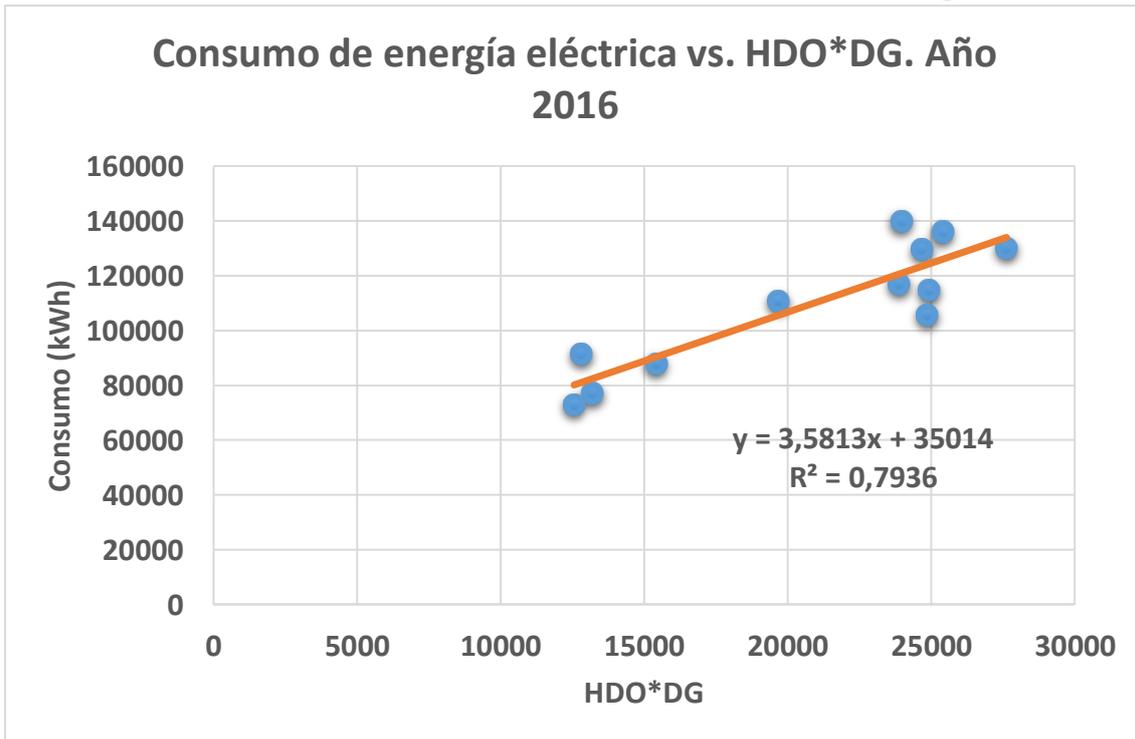


Fig. II.19: Gráfico de correlación 2016.

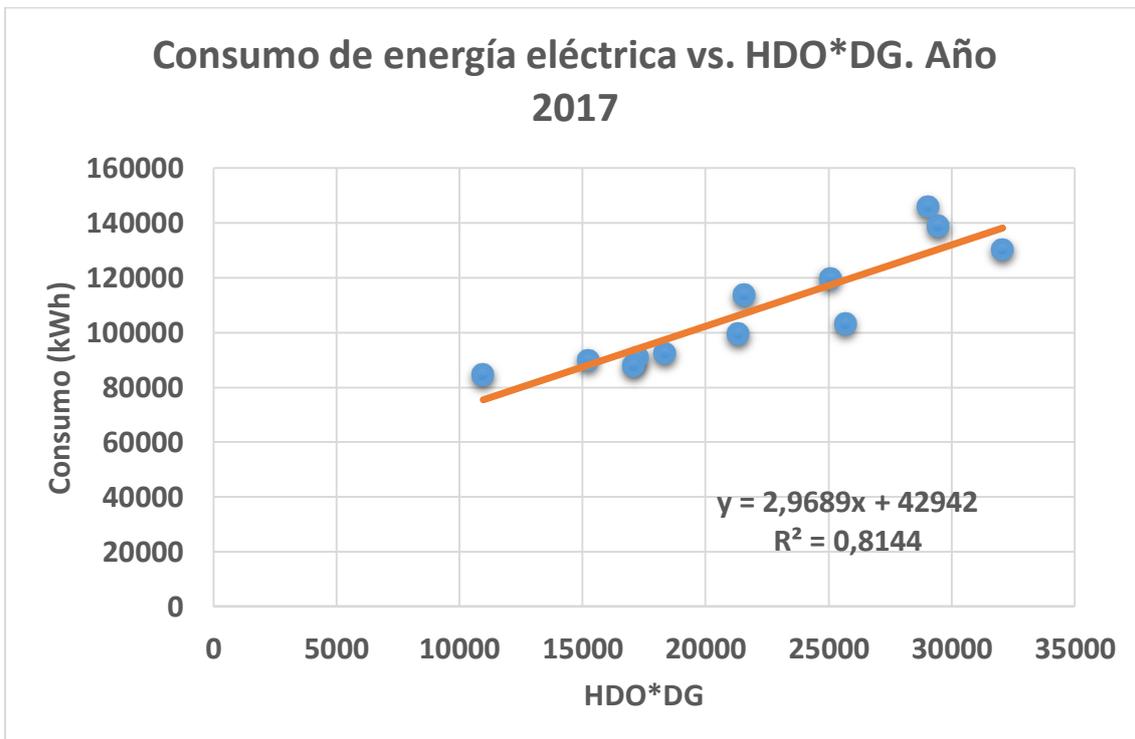


Fig. II.20: Gráfico de correlación 2017.

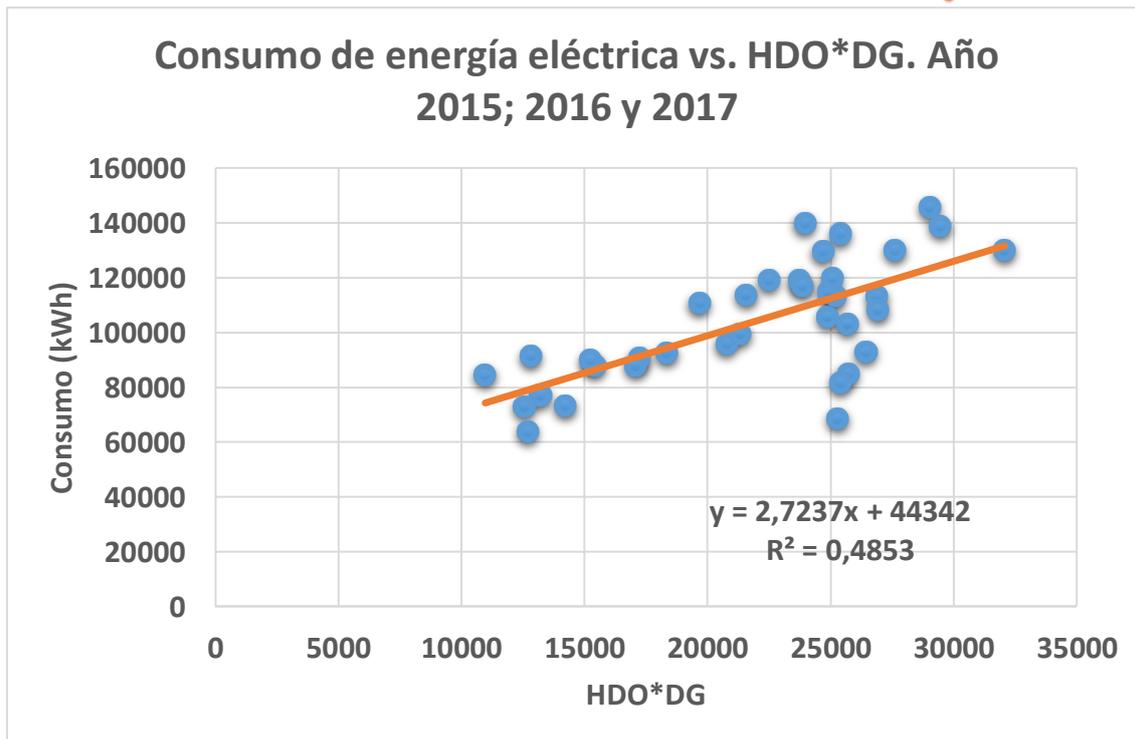


Fig. II.21: Gráfico de correlación 2015; 2016 y 2017.

La línea base energética se construye mediante el gráfico de consumo de energía contra producción. En Cuba, el MINTUR considera como variable significativa o de producción para el sector hotelero, las Habitaciones Días Ocupadas (HDO), pero en últimas investigaciones para obtener mejores resultados esta variable también debe afectarse por los DG debido a que la temperatura influye mucho en el consumo de energía. En las figuras II.18 y II.21 se observa que, en el período analizado, el coeficiente de correlación entre el consumo de energía y las HDO\*DG es baja, demasiado por debajo del valor de 0,75 considerado como válido por el modelo matemático como un valor aceptable, indicando una débil correlación entre los parámetros representados en el diagrama de dispersión, y, por tanto, que el índice de consumo (IC) no reflejará adecuadamente la eficiencia energética del hotel. A continuación, se muestra en la tabla un resumen del índice de correlación ( $R^2$ ) del modelo lineal (kWh vs. HDO\*DG) obtenido en los años 2015; 2016 y 2017.

Tabla II.5: Coeficientes de correlación del modelo lineal ( $R^2$ ) entre el consumo de energía eléctrica (kWh) y las HDO para los años 2015; 2016 y 2017.

Años	R2
2015	0,27
2016	0,7936
2017	0,8144
2015-16-17	0,4853

Con el objetivo de mejorar el valor de  $R^2$  en el gráfico II.21 que analiza los tres años se decide hacer un filtrado de datos, la misma es una de las técnicas que permiten descartar los datos que no reflejan un comportamiento normal, y que son principalmente producto de errores en las mediciones y condiciones anómalas de operación.

El filtrado se basa en un análisis de correlación, en donde se considera un patrón normal, cuando existe una variación simultáneamente lineal en el consumo energético y en el nivel producción (u otra variable independiente) durante un mismo periodo. Los pares de datos que no cumplen en cierto nivel con este criterio son considerados anómalos.

Luego de haber realizado el filtrado se obtiene el gráfico II.21B en el que se muestra un valor de  $R^2=0,79$  que permitirá que el índice de consumo refleje adecuadamente la eficiencia energética del hotel.

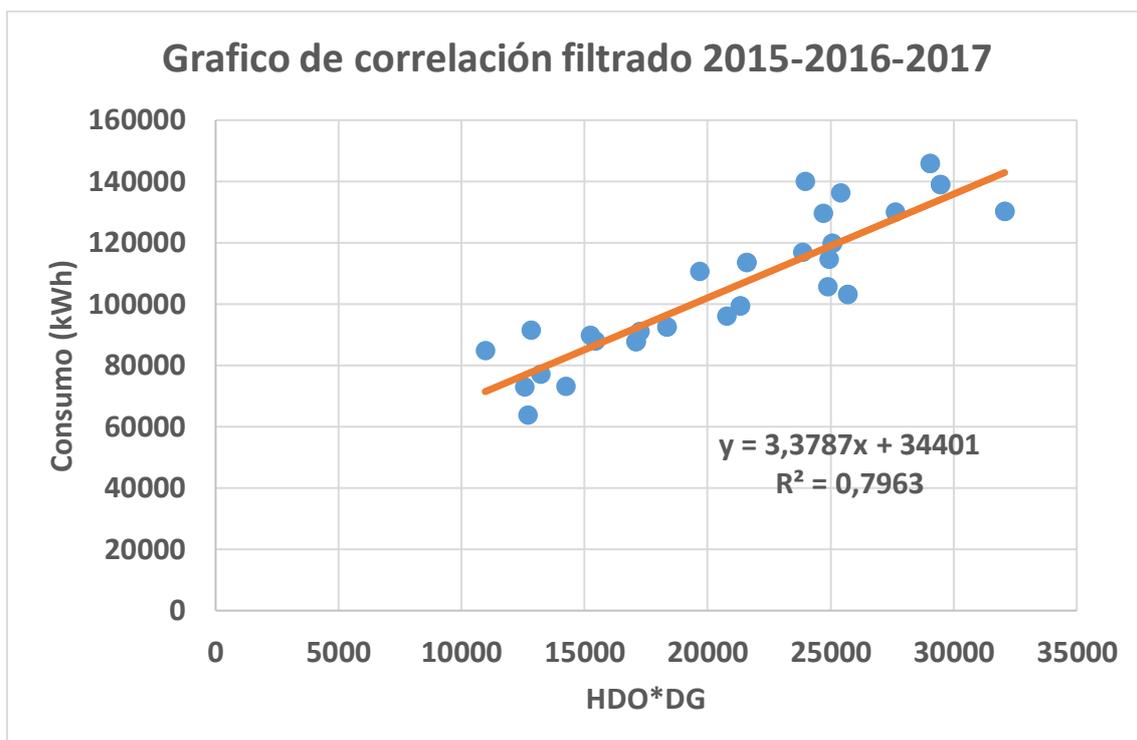


Fig. II.21B: Filtrado de gráfico de correlación 2015; 2016 y 2017.

### 2.2.8 Diagrama índice de consumo – producción (IC vs. P).

Este diagrama se realiza después de haber obtenido el gráfico Energía vs. Producción con la ecuación II.5.

La expresión de la función  $IC=f(HDO*DG)$  se obtiene de la siguiente manera:

$$E = m * HDO * DG * E_0 \quad (ec. II. 7)$$

$$IC = \frac{E}{P} = m + \frac{E_0}{P} \quad (ec. II. 8)$$

$$IC = m + \frac{E_0}{P} \quad (ec. II. 8)$$

Para la realización los gráficos II.22 , II.23 , II.24 y II.25 se determina un índice de consumo teórico que posteriormente proporciona un punto de comparación que permite estandarizar los niveles de ocupación equivalentes a niveles de eficiencia energética superiores, valores de IC por debajo de la curva teórica indican un incremento de eficiencia en el manejo del hotel, en el caso contrario existe un potencial de disminución del índice de consumo igual a la diferencia entre el IC real (sobre la curva) y el IC teórico (en la curva) para iguales niveles de ocupación.

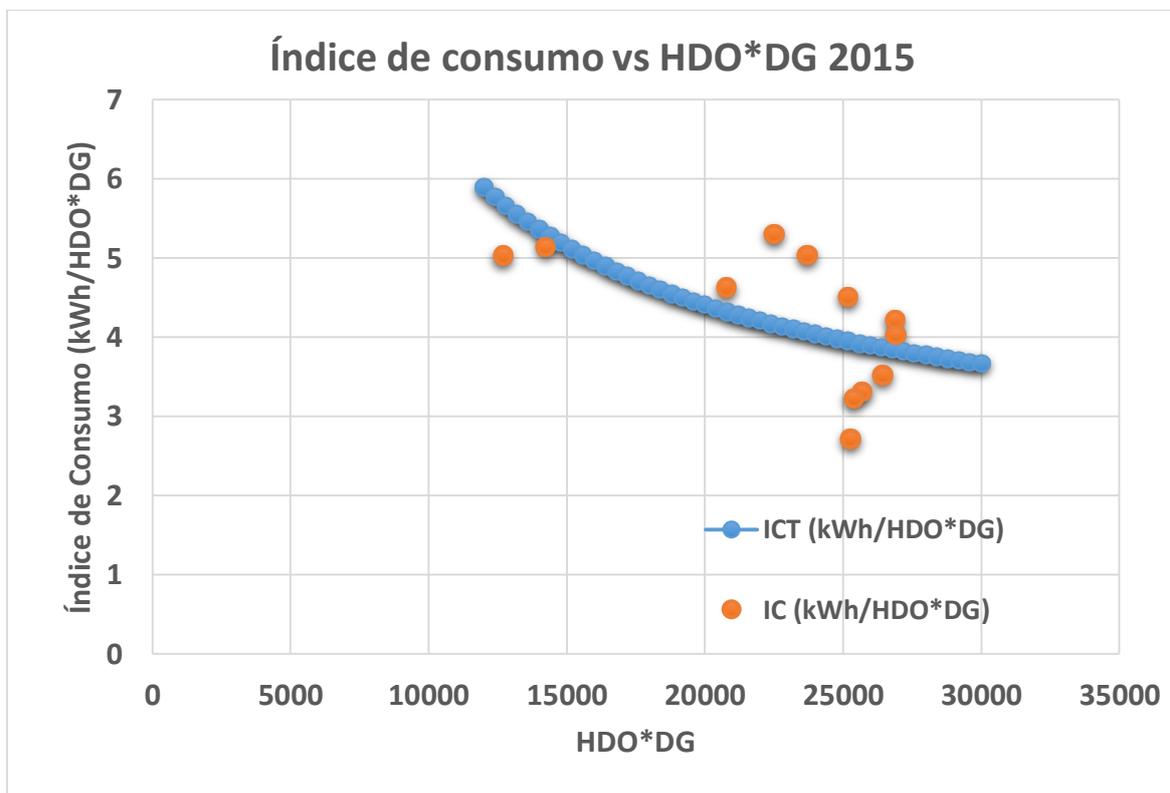


Fig. II.22: Gráfico de Índice de consumo vs HDO\*DG en 2015

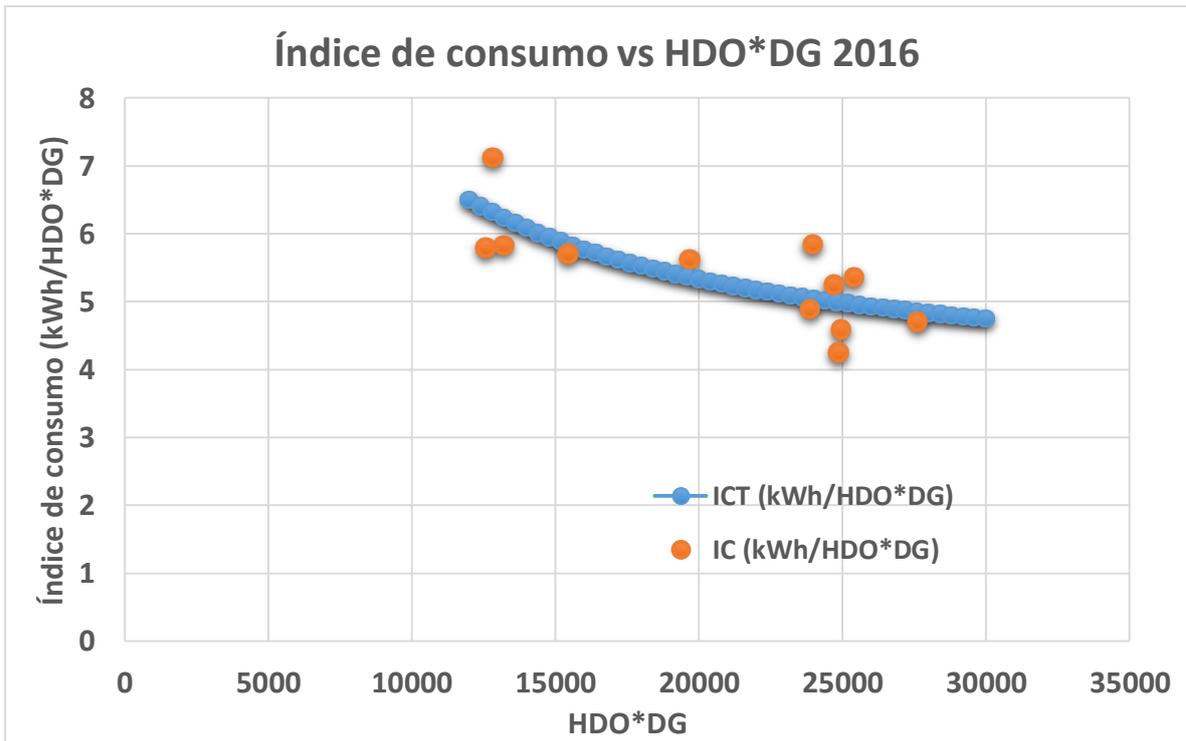


Fig. II.23: Gráfico de Índice de consumo vs HDO\*DG en 2016

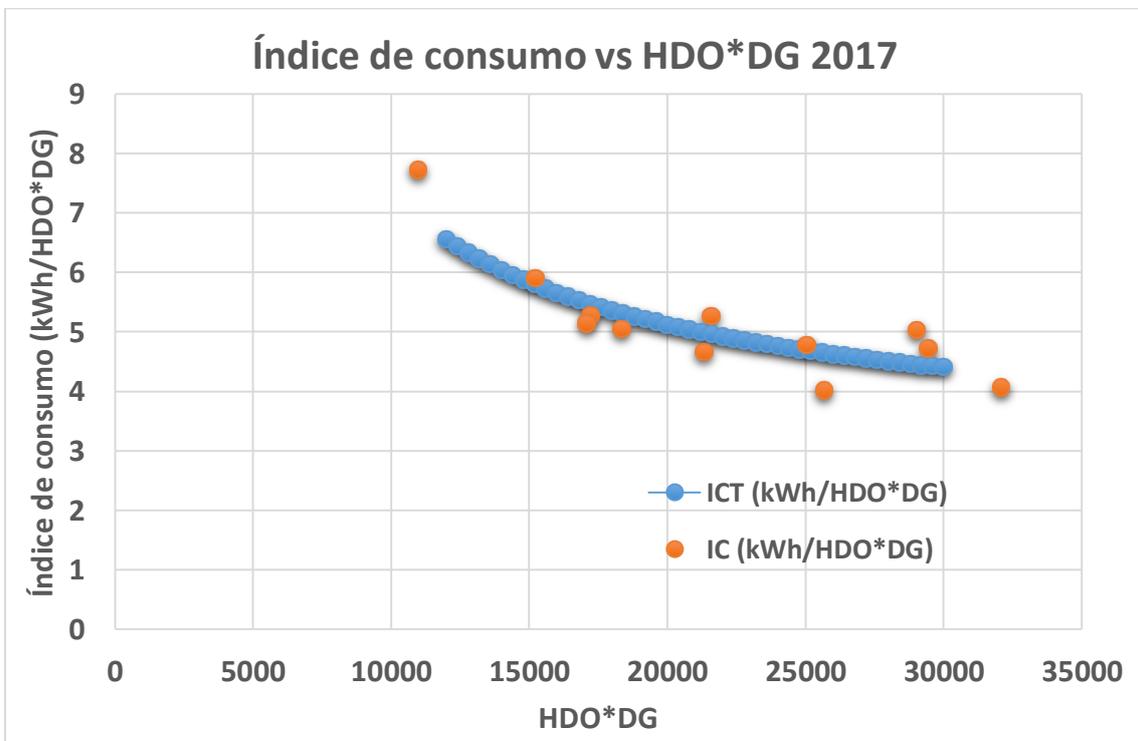


Fig. II.24: Gráfico de Índice de consumo vs HDO\*DG en 2017.

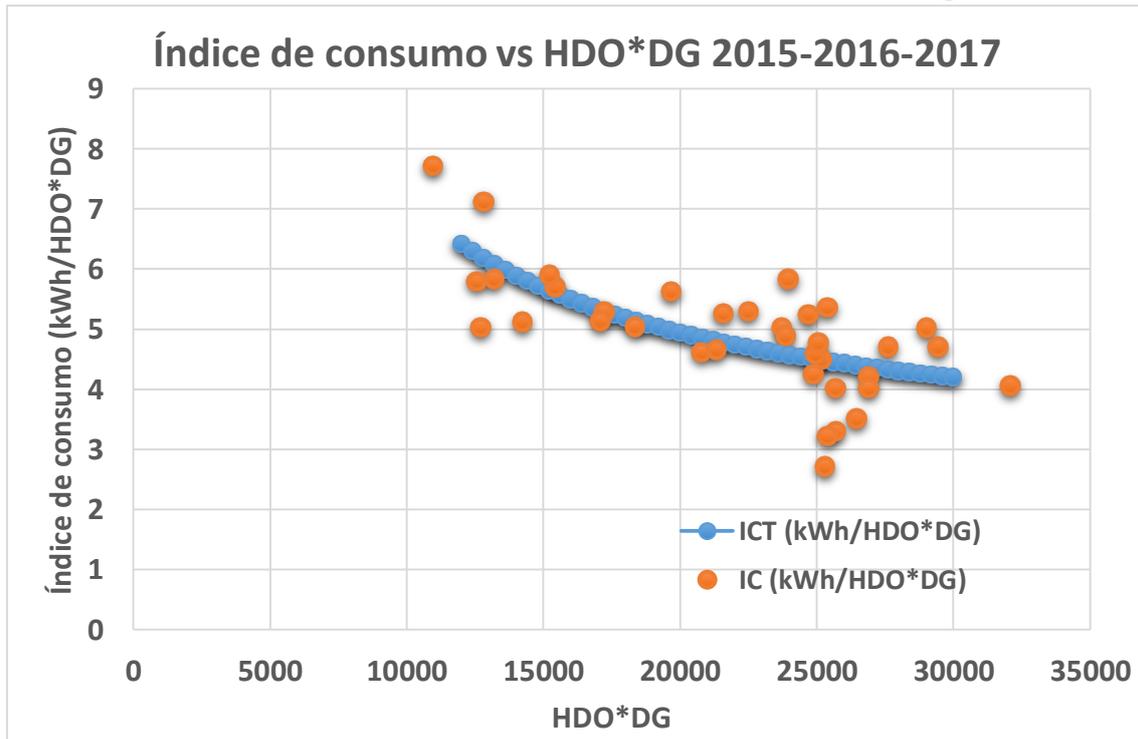


Fig. II.25: Gráfico de Índice de consumo vs HDO\*DG en 2015; 2016 y 2017.

Se pueden establecer sobre estos gráficos las metas de reducción del índice proyectadas para el nuevo periodo e ir controlando su cumplimiento, además establecer metas de índices de consumos en función de una producción planificada por las condiciones de mercado, evaluar el comportamiento de la eficiencia energética de la empresa en un período dado, determinar factores que influyen en las variaciones del índice de consumo a nivel de empresa, área o equipo.

El gráfico resulta un adecuado medio de control del consumo energético en función de la producción a fin de tomar medida si se aprecia que el Indicador de Desempeño Energético (IDEn) o Índice de Consumo sobrepasa el valor establecido matemáticamente para la empresa.

### 2.2.9 Comparación de energía eléctrica media en función de las HDO, energía eléctrica máxima estimada y energía eléctrica real o facturada.

Para la realización de la Fig. II.26 se calculó la energía eléctrica estimada que el hotel pudiese consumir mensual con la ayuda del censo de cargas y la horas de trabajo de los equipo consumidores de energía eléctrica ya realizado anteriormente (Tablas II.4A, II.4B, II.4C, II.4D, II.4E, II.4F, II.4G, II.4H, II.4I),

además se calculó la energía eléctrica en función del nivel ocupacional del hotel para compararlo con las facturas tomando como valor de HDO el promedio de nivel ocupacional diario de cada mes durante los tres años (Tabla II.6) y poder conocer cuáles son los rangos de consumo en los que el hotel se encuentra para los diferentes niveles ocupacionales, además también de representar los consumos facturados a lo largo de los tres años estudiados .

Tabla II.6: Ocupación mensual y valores promedio de ocupación (HDO) en los años 2015; 2016 y 2017.

Meses	2015	2016	2017	Promedio mensual	Promedio diario
<b>Enero</b>	3032	3387	2677	3032	101
<b>Febrero</b>	3342	3810	2874	3342	111
<b>Marzo</b>	3833	4077	3590	3833	128
<b>Abril</b>	3135	3464	2806	3135	105
<b>Mayo</b>	3328	3012	3645	3328	111
<b>Junio</b>	2954	2776	3133	2954	98
<b>Julio</b>	2708	2663	2754	2708	90
<b>Agosto</b>	2989	2823	3155	2989	100
<b>Septiembre</b>	2666	3174	2159	2666	89
<b>Octubre</b>	2885	2772	2998	2885	96
<b>Noviembre</b>	3901	3216	4586	3901	130
<b>Diciembre</b>	3101	2037	4166	3101	103
<b>Promedio</b>	3156	3101	3212	3156	105

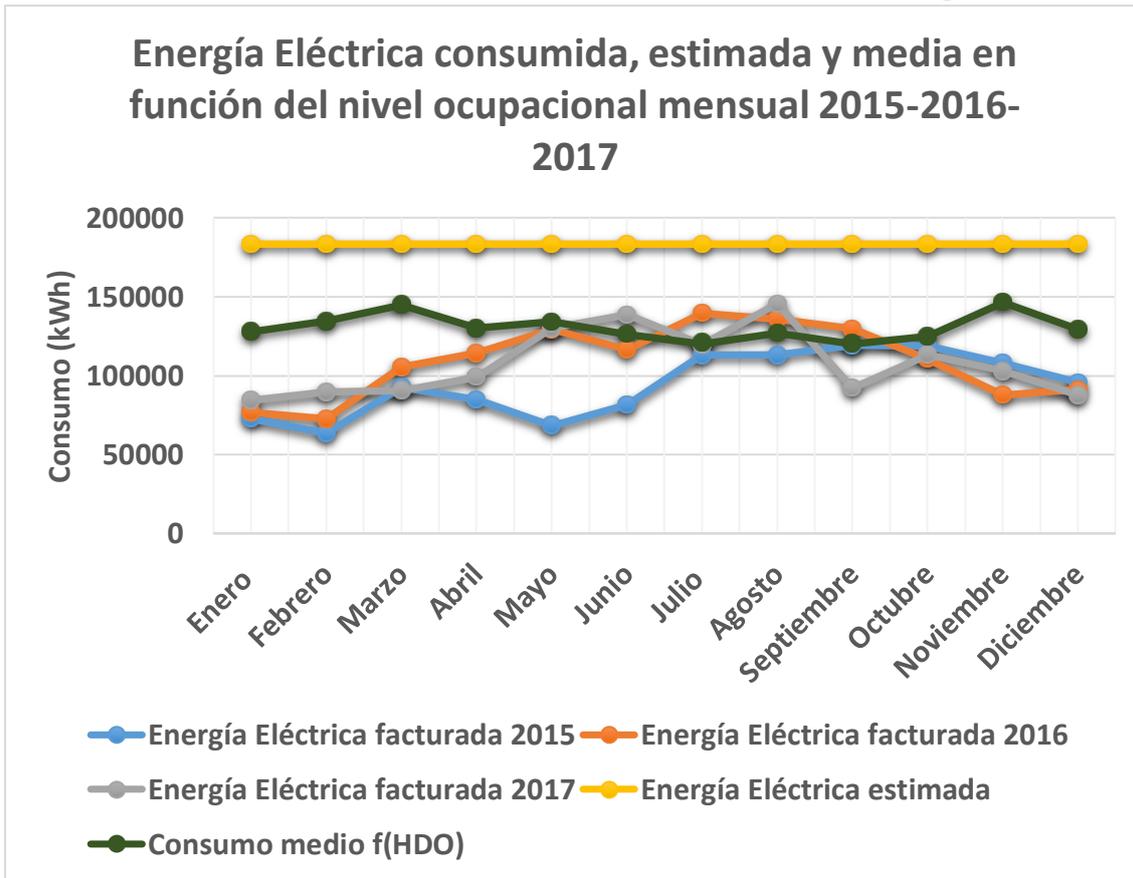


Fig. II.26: Energía Eléctrica consumida, estimada y media en función del nivel ocupacional mensual 2015; 2016 y 2017.

En la Fig. II.26 se puede observar como de manera general el comportamiento del consumo de energía en el hotel durante los tres años fue de manera muy similar a excepción de los meses abril-mayo-junio de 2015 que estuvo muy por debajo debido al poco nivel ocupacional del hotel en ese tiempo. También se puede apreciar como la energía eléctrica facturada durante los meses de junio-julio-agosto de los años 2016-2017 es mayor a la energía eléctrica en función del nivel ocupacional mensual debido a las altas temperaturas medias durante estos tres meses en Cuba en los meses de verano, sin embargo, no sucede lo mismo en 2015 a pesar de ser igualmente meses de verano y eso es debido a que en comparación con 2016-2017 en igual periodo de tiempo el nivel ocupacional del hotel fue mucho menor y esto trae como consecuencia un menor consumo de energía eléctrica.

## 2.2.10 Comparación de energía térmica media en función de las HDO, energía térmica máxima estimada y energía térmica real o facturada.

Para elaborar este gráfico se hace necesario tomar del censo de equipos (Tablas II.4A, II.4B, II.4C, II.4D, II.4E, II.4F, II.4G, II.4H, II.4I) los equipos consumidores de energía térmica (Tabla II.7). También se representará en este gráfico el consumo estimado de energía térmica en función del nivel ocupacional mensual haciendo usos de las tablas II.6 y II.7, al igual se calcularán las energías térmicas durante 2015-2016-2017

Tabla II.7: Equipos consumidores de energía térmica.

Equipo	Cantidad	Horas	Cap. De frío unitaria(kW)	Cap. De frío total(kW)	Energía Term. Diaria (kWht)	Energía Term. Mensual (kWht)
A. A Genaire	97	10	1,76	170,5745	1705,75	51172,35
A.A LG	15	10	1,76	26,3775	263,78	7913,25
A.A Vince	14	10	1,76	24,64	246,40	7392,00
A.A Chigo	36	10	1,76	63,36	633,60	19008,00
A.A Miller	25	10	2,63	65,75	657,50	19725,00
A.A Mirage	37	10	1,76	65,12	651,20	19536,00
Split	1	8	10,55	10,551	84,41	2532,24
Split	1	8	7,03	7,034	56,27	1688,16
Split	1	8	3,52	3,517	28,14	844,08
AA ventana	6	6	1,76	10,56	63,36	1900,80
AA ventana	3	6	1,76	5,28	31,68	950,40
AA ventana	1	6	3,52	3,517	21,10	633,06
AA ventana	3	19	1,76	5,28	100,32	3009,60
AA ventana	1	16	1,76	1,76	28,16	844,80
AA ventana	1	16	1,76	1,76	28,16	844,80
AA ventana	1	16	1,76	1,76	28,16	844,80
AA ventana	1	16	1,76	1,76	28,16	844,80
Split	4	18	4,40	17,5848	316,53	9495,79
Split	4	6	7,03	28,136	168,82	5064,48
Split	1	14	6,15	6,154	86,16	2584,68
Split	2	18	6,15	12,308	221,54	6646,32
<b>Total</b>				<b>532,7838</b>	<b>5449,18</b>	<b>163475,41</b>

Con la ayuda de la tabla II.7 se puede calcular la energía térmica estimada mensual multiplicando cada equipo por la cantidad que existe de cada uno de los mismos, las horas de usos al día, la capacidad de frío y finalmente por 30 días esto queda plasmado en la tabla II.8.

Tabla II.8: Consumo estimado de energía térmica diario y mensual estimado 2015-2016-2017.

	Energía Térm. Diaria estimada (kWht)	Energía Térm. Mensual Estimada (kWht)
Energía Térmica	5 449,18	163 475,41

Para poder hallar la energía térmica facturada se hace uso de la ecuación II.9 en la cual se tienen en cuenta los principales medios de producción de energía térmica.

$$Q_{\text{térmica calculada}} = Q_{\text{Calentadores solares}} + Q_{\text{diésel}_x} \quad (\text{ec II.9})$$

Donde:

$Q_{\text{Calentadores solares}}$ : Energía térmica consumida en el proceso de calentamiento de agua

$Q_{\text{diésel}_x}$ : Energía térmica consumida por las calderas de agua como apoyo de los calentadores solares para cada mes.

Para hallar  $Q_{\text{Calentadores solares}}$  es necesario ante todo calcular el flujo de agua ( $G_{\text{ACS}}$ ) que es suministrado al módulo habitacional y otras áreas del hotel. En las ecuaciones II.10 y II.11 queda reflejado como hallar dicho flujo. En la ecuación II.10 se calcula  $G_{\text{ACS}}$  con el hotel con su máximo nivel de ocupación y en la II.11 se determina el  $G_{\text{ACS}}$  función del nivel ocupacional mensual de hotel.

$$G_{\text{ACS max}} = \text{HDO}_{\text{max}} * G_{\text{ACS}}/\text{HDO} \quad (\text{ec. II.10})$$

Donde:

$\text{HDO}_{\text{max}} = 5\,640$  : es el máximo nivel de ocupación mensual que pudiera tener el hotel.

$G_{\text{ACS}}/\text{HDO} = 155 \text{ l}/\text{HDO}$  («Consumo de agua potable para hoteles 4 y 5 estrellas, y alternativas de reducción.» 2011)

$$G_{\text{ACS max}} = 155 * 5\,640 = 874\,200 \text{ l}/\text{mes.}$$

$$G_{\text{ACS}} = \text{HDO}_{\text{mensual}} * G_{\text{ACS}}/\text{HDO} \quad (\text{ec. II.11})$$

Donde:

$HDO_{mensual}$ : Ocupación del hotel para los distintos meses de 2015; 2016 y 2017.

Los resultados de la ec. II.11 quedan expuestos en la tabla II.9.

Tabla II.9: Flujo de agua caliente sanitaria en función de la ocupación mensual del hotel.

Mes	HDO (HDO/mes)	G/HDO (l/HDO)	$G_{ACS}$ (l/mes)
ene-15	3032	155	469960
feb-15	3342		518010
mar-15	3833		594115
abr-15	3135		485925
may-15	3328		515840
jun-15	2954		457870
jul-15	2708		419740
ago-15	2989		463295
sep-15	2666		413230
oct-15	2885		447175
nov-15	3901		604655
dic-15	3101		480655
ene-16	3387		524985
feb-16	3810		590550
mar-16	4077		631935
abr-16	3464		536920
may-16	3012		466860
jun-16	2776		430280
jul-16	2663		412765
ago-16	2823		437565
sep-16	3174		491970
oct-16	2772		429660
nov-16	3216		498480
dic-16	2037		315735
ene-17	2677		414935
feb-17	2874		445470
mar-17	3590		556450
abr-17	2806		434930
may-17	3645		564975
jun-17	3133		485615
jul-17	2754	426870	
ago-17	3155	489025	
sep-17	2159	334645	

oct-17	2998		464690
nov-17	4586		710830
dic-17	4166		645730

Con la ecuaciones II.12 y II.13 se calculan los flujos de calor máximo ( $Q_{ACSmax}$ ) y el flujo de calor mensual ( $Q_{ACS}$ ) respectivamente.

$$Q_{ACSmax} = \frac{G_{ACS\ max} * Cp * \Delta T}{\eta_{Calentadores\ solares}} \quad ec. II. 12$$

Donde:

$\Delta T = 30^{\circ}C$ : Diferencia de temperatura entre la salida del agua del calentador solar ( $90^{\circ}C$ ) y la entrada ( $60^{\circ}C$ ).

$Cp = 4,19\ kJ/kg^{\circ}C$ : este valor se obtuvo luego de hallarse el promedio del Cp para las diferentes temperaturas de entrada y de salida del agua a los calentadores solares.

$$\eta_{Calentadores\ solares} = 63\%$$

Nota:

$1\ l_{H_2O} = 1\ kg_{H_2O}$  debido a que la densidad del agua es igual a  $1000\ kg/m^3$  y  $1\ m^3 = 1000\ l$ .

$$Q_{ACSmax} = \frac{874\ 200\ kg/mes * 4,19\ kJ/kg^{\circ}C * 30^{\circ}C}{0.63}$$

$$Q_{ACSmax} = 174\ 423\ 714\ KJ/mes$$

Debido a la necesidad de expresar todos los valores de energía en kWh se convierte el resultado anterior teniendo en cuenta que  $1\ KJ = 2,78 * 10^{-4}\ kWh$ ,

Por tanto:

$$Q_{ACSmax} = 174\ 423\ 714\ KJ/mes = 48\ 490\ kWh/mes$$

$$Q_{ACS\ mensual} = \frac{G_{ACS\ mensual} * Cp * \Delta T}{\eta_{Calentadores\ solares}} \quad ec. II. 13$$

En la tabla II.10 se muestran los resultados de la ecuación II.13.

Mes	Gacs	$\Delta T$	cp	$\eta$	$Q_{ACSmensual}(KJ)$	kWh/KJ	$Q_{ACSmensual}(kWh)$
ene-15	469 960	30	4,19	0,63	93 768 209	0,000278	26 067
feb-15	518 010				103 355 328		28 732
mar-15	594 115				118 540 088		32 954
abr-15	485 925				96 953 607		26 953
may-15	515 840				102 922 361		28 612
jun-15	457 870				91 355 966		25 396
jul-15	419 740				83 748 123		23 281
ago-15	463 295				92 438 383		25 697
sep-15	413 230				82 449 223		22 920
oct-15	447 175				89 222 059		24 803
nov-15	604 655				120 643 069		33 538
dic-15	480 655				95 902 116		26 660
ene-16	524 985				104 747 007		29 119
feb-16	590 550				117 828 785		32 756
mar-16	631 935				126 086 078		35 051
abr-16	536 920				107 128 323		29 781
may-16	466 860				93 149 685		25 895
jun-16	430 280				85 851 104		23 866
jul-16	412 765				82 356 445		22 895
ago-16	437 565				87 304 635		24 270
sep-16	491 970				98 159 728		27 288
oct-16	429 660				85 727 400		23 832
nov-16	498 480				99 458 628		27 649
dic-16	315 735				62 996 650		17 513
ene-17	414 935	82 789 411	23 015				
feb-17	445 470	88 881 871	24 709				
mar-17	556 450	111 025 023	30 864				
abr-17	434 930	86 778 890	24 124				
may-17	564 975	112 725 964,	31 337				
jun-17	485 615	96 891 754	26 935				
jul-17	426 870	85 170 728	23 677				
ago-17	489 025	97 572 130	27 125				
sep-17	334 645	66 769 645	18 561				
oct-17	464 690	92 716 719	25 775				
nov-17	710 830	141 827 509	39 428				
dic-17	645 730	128 838 509	35 817				

La energía térmica suministrada a la caldera se determina a partir de la combustión del diésel según la ecuación II.14. Los resultados mensuales son dados en la tabla II.12.

$$Q_{diésel_x} = Q_{Calderas} = \frac{G_{Diésel_x}}{FC} * VC \quad ec.II.14$$

Donde:

$Q_{Calderas}$ : Consumo de energía térmica de las calderas.

$G_{Diésel_x}$ : consumos de diésel de la caldera para los meses de 2015-2016-2017

$FC = 1,18878 \text{ l/kg}$  (CUPET 2016)

$VC = 10200 \text{ kcal/kg}$  (CUPET 2016)

Tabla II.12: Energía térmica mensual suministrada a la caldera.

Mes	Consumo de diésel (l)	Factor de conversión (l/kg)	Valor calórico (kcal/kg)	Qdiésel (kWh)
ene-15	2 430	1,18878	10200	24 228,5
feb-15	2 430			24 228,5
mar-15	2 190			21 835,5
abr-15	1 900			18 944,1
may-15	1 980			19 741,7
jun-15	1 460			14 557,0
jul-15	1 400			13 958,8
ago-15	1 860			18 545,3
sep-15	1 450			14 457,3
oct-15	2 376			23 690,1
nov-15	2 500			24 926,4
dic-15	2 700			26 920,5
ene-16	2 648			26 402,1
feb-16	2 305			22 982,2
mar-16	2 123			21 167,5
abr-16	2 549			25 415,0
may-16	1 530			15 255,0
jun-16	2 356			23 490,7
jul-16	2 074			20 679,0
ago-16	1 208			12 044,4
sep-16	970			9 671,4
oct-16	1 080			10 768,2
nov-16	2 554			25 464,8
dic-16	2 146			21 396,8
ene-17	2 484	24 766,9		
feb-17	1 674	16 690,7		
mar-17	2 876	28 675,3		

abr-17	2 653			26 451,9
may-17	2 546			25 385,1
jun-17	1 100			10 967,6
jul-17	3 165			31 556,8
ago-17	2 081			20 748,7
sep-17	5 644			56 273,9
oct-17	3 789			37 778,5
nov-17	4 132			41 198,4
dic-17	3 542			35 315,7

Con la ec. II.11 se determina la energía térmica máxima tomado como  $Q_{diésel_x}$  el mayor valor de los meses calculados y la energía térmica en función del nivel ocupacional (HDO). En las tablas II.13 y II.14 se muestran la energía térmica máxima y la energía térmica en función del nivel ocupacional (HDO).

Tabla II.13: Energía térmica calculada máxima que pudiese consumir el hotel mensualmente.

$Q_{ACSmax}(kWht)$	$Q_{diésel,max}(kWht)$	$Q_{térmica\ calculada\ max}(kWht)$
48 490	56 273	<b>104 763</b>

Tabla II.14: Valores de energía térmica calculada en función de las HDO.

Mes	Media HDO	$Q_{ACS}(kWht)$	$Q_{diésel}(kWht)$	$Q_{térm. calc.}(kWht)$
ene-15	101	26 067,6	24 228,5	50 296,0
feb-15	111	28 732,8	24 228,5	52 961,3
mar-15	128	32 954,1	21 835,5	54 789,7
abr-15	105	26 953,1	18 944,1	45 897,2
may-15	111	28 612,4	19 741,7	48 354,1
jun-15	98	25 397,0	14 557,0	39 954,0
jul-15	90	23 282,0	13 958,8	37 240,8
ago-15	100	25 697,9	18 545,3	44 243,1
sep-15	89	22 920,9	14 457,3	37 378,2
oct-15	96	24 803,7	23 690,1	48 493,8
nov-15	130	33 538,8	24 926,4	58 465,2
dic-15	103	26 660,8	26 920,5	53 581,3
ene-16	101	29 119,7	26 402,1	55 521,7
feb-16	111	32 756,4	22 982,2	55 738,6
mar-16	128	35 051,9	21 167,5	56 219,4
abr-16	105	29 781,7	25 415,0	55 196,6
may-16	111	25 895,6	15 255,0	41 150,6

jun-16	98	23 866,6	23 490,7	47 357,3
jul-16	90	22 895,1	20 679,0	43 574,0
ago-16	100	24 270,7	12 044,4	36 315,1
sep-16	89	27 288,4	9 671,4	36 959,9
oct-16	96	23 832,2	10 768,2	34 600,4
nov-16	130	27 649,5	25 464,8	53 114,3
dic-16	103	17 513,1	21 396,8	38 909,9
ene-17	101	23 015,5	24 766,9	47 782,3
feb-17	111	24 709,2	16 690,7	41 399,9
mar-17	128	30 865,0	28 675,3	59 540,3
abr-17	105	24 124,5	26 451,9	50 576,4
may-17	111	31 337,8	25 385,1	56 722,9
jun-17	98	26 935,9	10 967,6	37 903,5
jul-17	90	23 677,5	31 556,8	55 234,3
ago-17	100	27 125,1	20 748,7	47 873,8
sep-17	89	18 562,0	56 273,9	74 835,8
oct-17	96	25 775,2	37 778,5	63 553,7
nov-17	130	39 428,0	41 198,4	80 626,4
dic-17	103	35 817,1	35 315,7	71 132,8

La figura II.27 muestra el comportamiento del consumo energético térmico del hotel en los años estudiados 2015; 2016 y 2017.

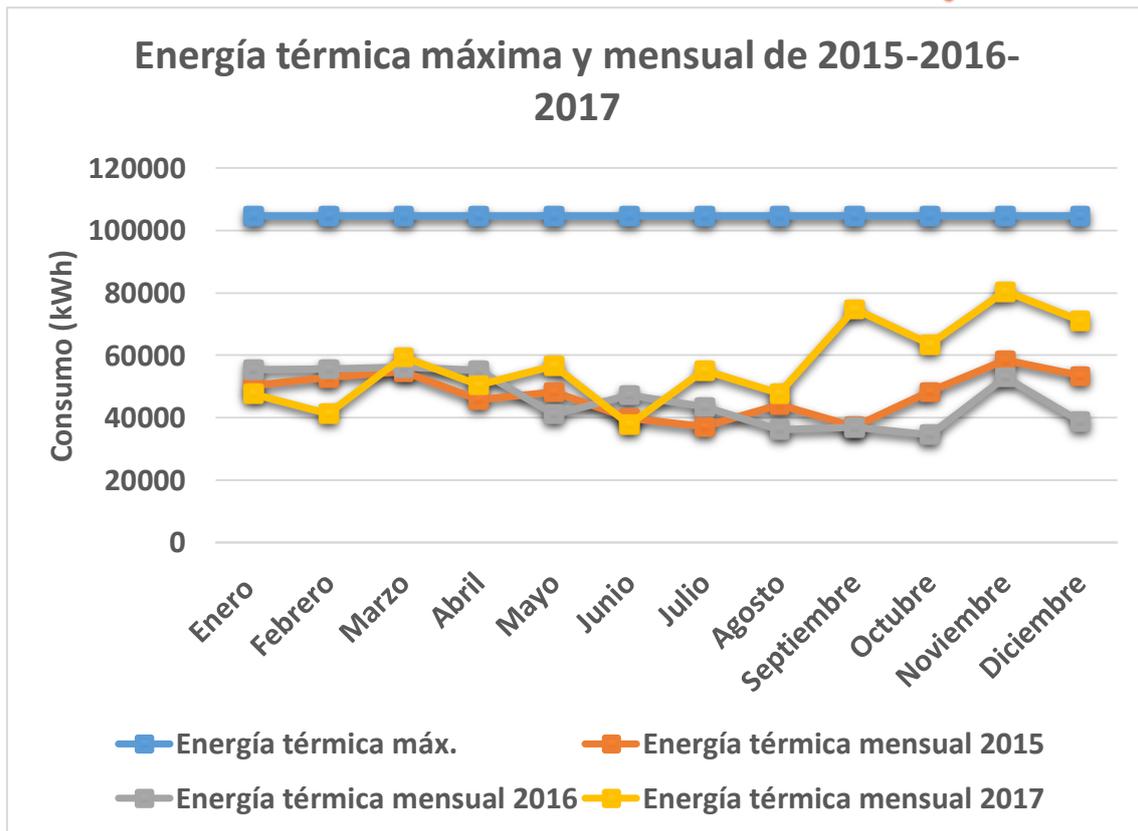


Figura II.27: Energía térmica máxima y mensual de 2015; 2016 y 2017.

Se puede observar en la figura II.27 como el comportamiento de la energía térmica mensual de los tres años se comportan de manera muy similar, solamente existe un aumento en los meses de septiembre-octubre-noviembre-diciembre de 2017 debido a que por fenómenos atmosféricos como el huracán Irma la caldera del hotel tuvo que prestar servicios por más tiempo del previsto y por tanto esto aumenta los consumos de energía térmica durante estos meses, pero lo normal es que este consumo no superase los 60 000 kWh como sucede en el resto de los meses.

#### Conclusiones parciales:

- 1- El mayor portador energético utilizado por el hotel es la energía eléctrica con una media anual del 73 % de las TEP consumidas durante los tres años analizados.
- 2- El área de mayor consumo de energía eléctrica del hotel es el módulo habitacional, el cual tiene una potencia eléctrica instalada de 354 kW.

- 3- El consumo de energía eléctrica del hotel durante estos tres años estudiados se encuentra en un rango desde 60 000 kWh hasta 150 000 kWh.
- 4- Los mayores picos de consumo de energía eléctrica se encuentran en los meses de verano en Cuba (junio-julio-agosto) debido a las altas temperaturas.
- 5- El gráfico de correlación entre el consumo de energía eléctrica y las HDO\*DG muestra un coeficiente cuadrático de correlación ( $R^2$ ) de 0,49. Valor muy bajo respecto al 0,75 que se considera aceptable. Ello no permite hacer fiable la línea base energética obtenida.
- 6- El proceso de filtrado de los datos energéticos posibilitó obtener un coeficiente cuadrático de correlación ( $R^2$ ) de 0,79. Este valor permite considerar la línea base energética fiable para estimaciones y control del consumo de energía eléctrica en el futuro.
- 7- El consumo medio de energía térmica del hotel es de 50 400 kWh/mes.

## Capítulo 3: Propuesta de esquema energético de cogeneración al hotel Pasacaballos.

### Introducción al capítulo

Los sistemas convencionales de suministro de energía eléctrica y térmica a las instalaciones y de servicio en Cuba tienen eficiencias que no sobrepasan el 50% y en sentido general los valores reales están por debajo del 40%. Es una necesidad imperiosa del país llegar a niveles de eficiencia superiores a los obtenidos en la actualidad y es la vía de la co-trigeneración la única, con el desarrollo tecnológico presente, que puede elevar el rendimiento a valores superiores al 60%.

Es en esta dirección que el presente trabajo aborda la propuesta de una planta de cogeneración como alternativa más eficiente, a la existente actualmente, para satisfacer necesidades eléctrica y térmica de la instalación.

### 3.1: Eficiencia y cantidad de combustible necesario para satisfacer demanda energética el hotel Pasacaballos

La figura III.1 muestra la eficiencia y consumo de combustible para satisfacer la demanda eléctrica del hotel Pasacaballos. La misma se realiza para poder establecer comparaciones posteriormente para saber si es factible o no el sistema de cogeneración propuesto.

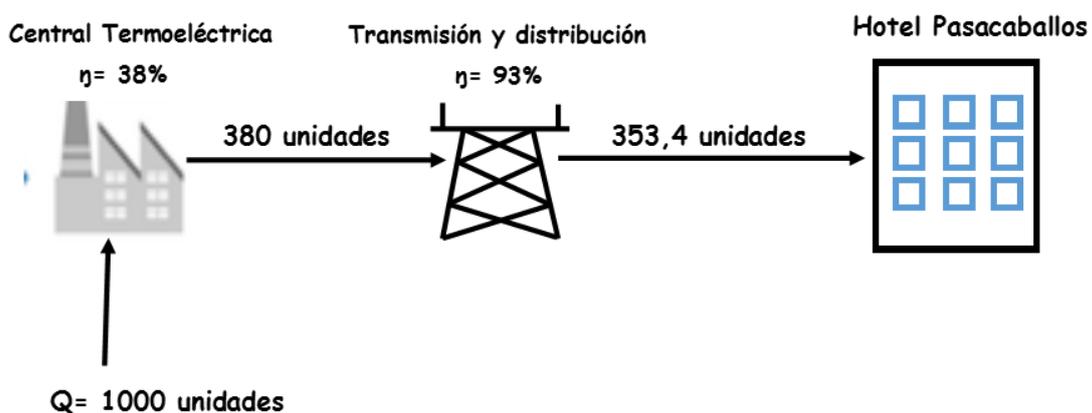


Fig. III.1: Eficiencia del Sistema Eléctrico Nacional.

Para poder saber la eficiencia general del sistema se hace uso de la ecuación III.1.

$$\eta_{G_{sist.}} = \eta_{CTE} * \eta_{T\&D} \quad ec. III. 1$$

Donde:

$$\eta_{CTE} = 38\% \text{ (Borroto 2009)}$$

$$\eta_{T\&D} = 93\% \text{ (Borroto 2009)}$$

$$\eta_{G_{sist.}} = \eta_{CTE} * \eta_{T\&D} = 35,34\%$$

Esto significa, como bien se refleja en la figura III.1, que, de 1000 unidades de combustible, solo se convierten en energía eléctrica 353,4 unidades.

Habiendo calculado la eficiencia general del sistema ( $\eta_{G_{sist.}}$ ) se pueden conocer con las facturas del hotel cuanto energía se tiene que generar para poder satisfacer la demanda energética del mismo haciendo uso de la ecuación III.2.

$$EE_{Gen.x} = EE_{Fact.x} / \eta_{G_{sist.}} \quad ec. III. 2$$

Donde:

$EE_{Gen.x}$ : Energía eléctrica generada en la central termoeléctrica de cada mes.

$EE_{Fact.x}$ : Energía eléctrica facturada por el hotel cada mes.

En la tabla III.1 se muestran los resultados de la ecuación III.2 evaluados para cada mes de 2015-2016-2017.

Tabla III.1: Energía eléctrica generada por la central termoeléctrica para satisfacer la demanda energética del hotel

Mes	$EE_{Fact.x}$ (Kwh)	$\eta_{G_{sist.}}$	$EE_{Gen.x}$ (kWh)
ene-15	73 060	0,3534	206 734,57
feb-15	63 788		180 498,01
mar-15	92 848		262 727,78
abr-15	84 935		240 336,72
may-15	68 497		193 822,86
jun-15	81 807		231 485,56
jul-15	113 219		320 370,68
ago-15	113 219		320 370,68
sep-15	119 282		337 526,88
oct-15	119 169		337 207,13

nov-15	108 177	306 103,56
dic-15	95 946	271 494,05
ene-16	77 047	218 016,4
feb-16	72 865	206 182,79
mar-16	105 652	298 958,6
abr-16	114 565	324 179,40
may-16	129 505	366 454,44
jun-16	116 821	330 563,10
jul-16	139 882	395 817,77
ago-16	136 104	385 127,33
sep-16	129 959	367 739,10
oct-16	110 603	312 968,30
nov-16	87 926	248 800,22
dic-16	91 358	258 511,60
ene-17	84 660	239 558,57
feb-17	89 860	254 272,77
mar-17	90 930	257 300,50
abr-17	99 372	281 188,4
may-17	130 258	368 585,17
jun-17	138 816	392 801,35
jul-17	119 707	338 729,4
ago-17	145 745	412 408,03
sep-17	92 521	261 802,49
oct-17	113 578	321 386,53
nov-17	103 151	291 881,72
dic-17	87 749	248 299,37

Teniendo en cuenta que la Central Termoeléctrica tiene un consumo específico de 271 g/kWh (MINEM 2018a) y habiendo calculado la cantidad de energía eléctrica que se tiene que generar para satisfacer la demanda energética del hotel se muestra en la tabla III.2 haciendo uso de la ecuación III.3 cuantas toneladas de petróleo se necesitaron para compensar la demanda energética del Hotel Pasacaballos durante 2015-2016-2017.

$$M_{fuel-oil} = EE_{Gen.x} * g/10^6 \quad ec. III.3$$

Donde:

$M_{petróleo}$ : Cantidad de petróleo necesario para satisfacer demanda energética del hotel (Toneladas)

$g = 271g/kWh$  (MINEM 2018a)

Tabla III.2: Toneladas de petróleo para satisfacer demanda energética del Hotel Pasacaballos.

Mes	$EE_{Fact.x}$ (Kwh)	Consumo específico (g/kWh)	$M_{fuel-oil}$ (T)
ene-15	73060	271	19,8
feb-15	63788		17,3
mar-15	92848		25,2
abr-15	84935		23,0
may-15	68497		18,6
jun-15	81807		22,2
jul-15	113219		30,7
ago-15	113219		30,7
sep-15	119282		32,3
oct-15	119169		32,3
nov-15	108177		29,3
dic-15	95946		26,0
ene-16	77047		20,9
feb-16	72865		19,7
mar-16	105652		28,6
abr-16	114565		31,0
may-16	129505		35,1
jun-16	116821		31,7
jul-16	139882		37,9
ago-16	136104		36,9
sep-16	129959		35,2
oct-16	110603		30,0
nov-16	87926		23,8
dic-16	91358		24,8
ene-17	84660		22,9
feb-17	89860		24,4
mar-17	90930		24,6
abr-17	99372		26,9
may-17	130258		35,3
jun-17	138816		37,6
jul-17	119707	32,4	
ago-17	145745	39,5	
sep-17	92521	25,1	
oct-17	113578	30,8	
nov-17	103151	28,0	
dic-17	87749	23,8	

En la tabla III.2 están dadas las toneladas de petróleo necesarias para satisfacer las necesidades mensuales de energía eléctrica del hotel. La media

anual de consumo es de 338,1 toneladas de petróleo que equivale a 341 TEP cada año. (CUPET 2016).

### 3.2 Propuesta de sistema de cogeneración para producción de frío con máquina de absorción en hotel Pasacaballos.

Esta propuesta plantea la instalación de un motor de combustión interna acoplado a un generador eléctrico para satisfacer la demanda eléctrica del hotel, a la vez, aprovechar la energía térmica del motor, utilizando los gases escape del mismo. Estos se dirigirán a una máquina de absorción que a través de una serie de intercambiadores de calor enviará agua fría a 7°C al hotel y la misma enfriará el complejo a través de un sistema de refrigeración centralizado.

Debido a que nuestro sistema de cogeneración proporcionara la energía eléctrica al hotel y producirá frío para la climatización del mismo se hace necesario construir una gráfica de consumo de energía eléctrica en la que no se tenga en cuenta el consumo energético por climatización en el hotel (Fig.III.2) y otra en la que se tenga en cuenta los consumos térmicos máximos y en función del nivel ocupacional del hotel (Fig.III.3).

#### 3.2.1. Energía eléctrica estimada, consumida y en función de las HDO sin tener en cuenta los consumos energéticos por climatización.

Para determinar el consumo de energía eléctrica sin tener en cuenta los mismos por climatización se hace uso de la ecuación III.4 la cual establece una relación entre los consumo reales y estimados tanto de energía eléctrica en general como la consumida por climatización solamente.

$$Energ. Eléct. Clima_x = \frac{Energ. eléc. est. clima}{Energ. elect. est.} * Energía eléc. fact. mes \quad ec. III. 4$$

Los resultados de la ecuación III.4 se muestran en la tabla III.3.

Tabla III.3: Energía eléctrica consumida sin climatización.

Mes	Factura eléctrica sin clima
ene-15	33 320,32
feb-15	29 091,66
mar-15	42 344,99
abr-15	38 736,12

<b>may-15</b>	31 239,28
<b>jun-15</b>	37 309,54
<b>jul-15</b>	51 635,54
<b>ago-15</b>	51 635,54
<b>sep-15</b>	54 400,68
<b>oct-15</b>	54 349,15
<b>nov-15</b>	49 336,05
<b>dic-15</b>	43 757,89
<b>ene-16</b>	35 138,66
<b>feb-16</b>	33 231,38
<b>mar-16</b>	48 184,48
<b>abr-16</b>	52 249,41
<b>may-16</b>	59 063,07
<b>jun-16</b>	53 278,30
<b>jul-16</b>	63 795,68
<b>ago-16</b>	62 072,66
<b>sep-16</b>	59 270,12
<b>oct-16</b>	50 442,47
<b>nov-16</b>	40 100,22
<b>dic-16</b>	41 665,45
<b>ene-17</b>	38 610,70
<b>feb-17</b>	40 982,26
<b>mar-17</b>	41 470,25
<b>abr-17</b>	45 320,37
<b>may-17</b>	59 406,48
<b>jun-17</b>	63 309,51
<b>jul-17</b>	54 594,51
<b>ago-17</b>	66 469,61
<b>sep-17</b>	42 195,85
<b>oct-17</b>	51 799,27
<b>nov-17</b>	47 043,85
<b>dic-17</b>	40 019,50

Luego de conocer los resultados de los nuevos consumos eléctricos del hotel se realiza la figura III.2 que muestra los diferentes rangos de consumo de energía eléctrica que tendrá el hotel con el sistema de cogeneración.

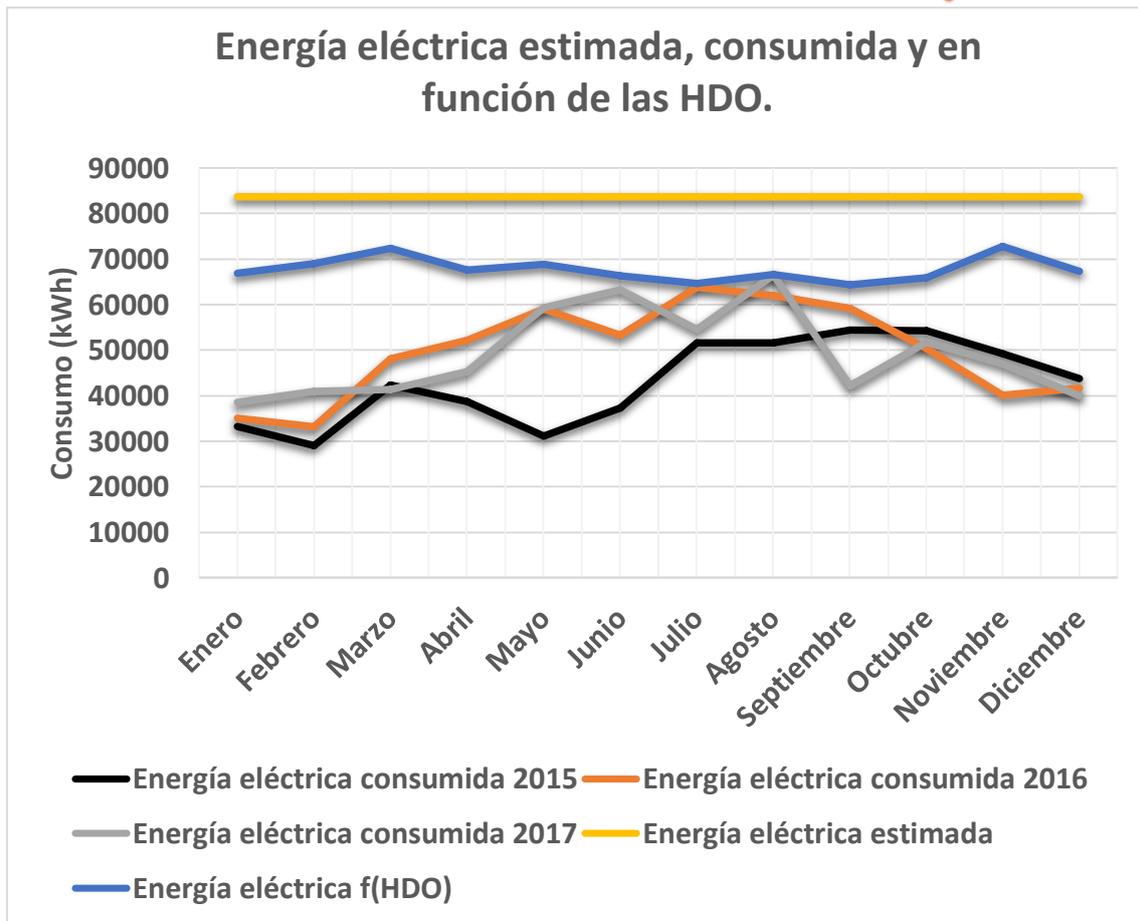


Fig. III.2: Energía eléctrica estimada, consumida y en función de las HDO sin tener en cuenta los consumos por climatización.

En la figura anterior se observa claramente cómo se comportó de manera muy regular el consumo de energía eléctrica en función del nivel ocupacional, en cambio, el consumo en febrero y mayo de 2015 fueron los más bajos de los años analizados, además se aprecia que el consumo en agosto de 2017 casi alcanza el consumo en función de las HDO; por lo tanto, el rango de consumos que deberá satisfacer el sistema de cogeneración se encuentra entre los 30 000kWh-75 000kWh.

### 3.2.2 Energía térmica estimada y en función de las HDO.

Para la realización de la figura III.3 en la que se tiene en cuenta la energía térmica estimada del hotel y en f (HDO) se procederá de la misma manera que con la energía eléctrica, debido a que la climatización del hotel era a través de la energía eléctrica que consumían los aires acondicionados y splits se hace

imposible calcular la energía térmica consumida por el hotel durante estos tres años.

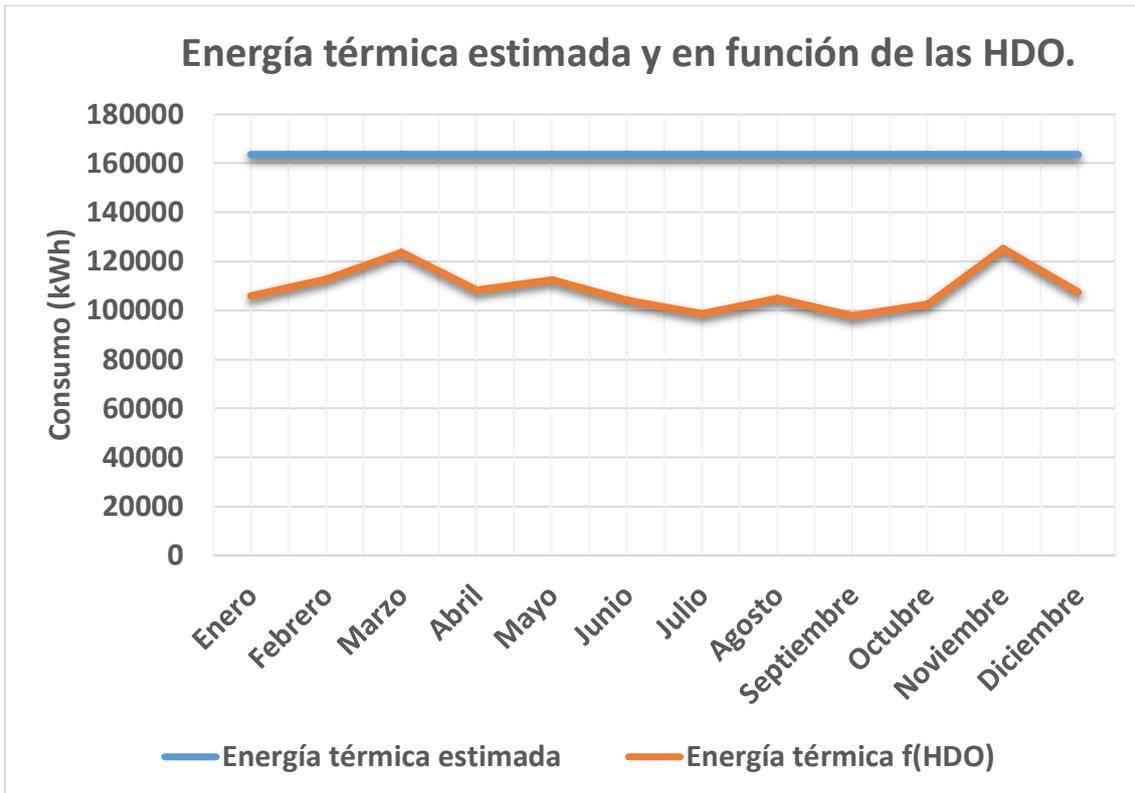


Fig. III.3: Energía térmica estimada y en función de las HDO.

Debido a que el proceso de climatización del hotel se realizaba a través de aires acondicionados y splits que trabajaban con energía eléctrica se hace imposible saber la cantidad real de energía térmica que se estaba consumiendo, pero de la gráfica anterior se concluye que los meses de mayor consumo de este tipo fueron Marzo y Noviembre, pero con el consumo estimado que es de aproximadamente 163 500 kWh se puede calcular la relación calor/electricidad para elegir el tipo de tecnología del sistema de cogeneración.

### 3.2.3 Relación calor/electricidad.

Esta relación es el parámetro fundamental que posibilita la selección del esquema de cogeneración en hoteles. La selección se realiza auxiliándose de la tabla III.4.

Tabla III.4: Selección del motor primario según relación Q/E para distintas tecnologías.

Sistema de cogeneración	Relación ( Q/E )	Temperatura de fluido caliente
Motor de combustión interna	De 0.8 a 2	De 120 a 400°C
Turbina de vapor	De 2 a 30	De 120 a mayores de 400°C
Turbina de gas	De 1.2 a 4	De 80 a 150°C

Usando la ecuación III.5 se determina el tipo de tecnología:

$$\frac{Q}{E} = \frac{163\,475\text{ kWh}}{83\,746\text{ kWh}} = 1,95 \quad \text{ec. III.5}$$

Donde:

*Q*: Consumo térmico estimado (kWh).

*E*: Consumo eléctrico estimado (kWh).

Con este resultado se pueden obtener dos tipos de tecnologías, pero según CONAE, debido a la variabilidad de las demandas de energía eléctrica y térmica que se pueden presentar en un hotel por las variaciones en temperatura ambiente y nivel ocupacional lo óptimo sería seleccionar un motor de combustión interna (Tabla III.5), además que el tipo de combustible de más fácil acceso con que cuenta la empresa para el sistemas de cogeneración es el diésel y este es uno de los tipo de combustible con que trabajan este tipo de máquinas.

Tabla III.5: Selección del motor primario de acuerdo a la variabilidad de la carga.

DEMANDA	EQUIPO
Demanda regulada	Turbina de gas o de vapor
Demanda irregular	Motor alternativo

Otro elemento que justifica la implementación de un motor de combustión interna en vez de una turbina de gas es que cuando se trabaja a cargas parciales ellos mantienen un rendimiento alto. (Faires 1987)

Para la selección del motor de combustión interna (MCI) se realiza las figuras III.4 y III.5 y en ellas se muestran las potencias eléctricas instaladas y en función de las HDO y en igual caso con la térmica.

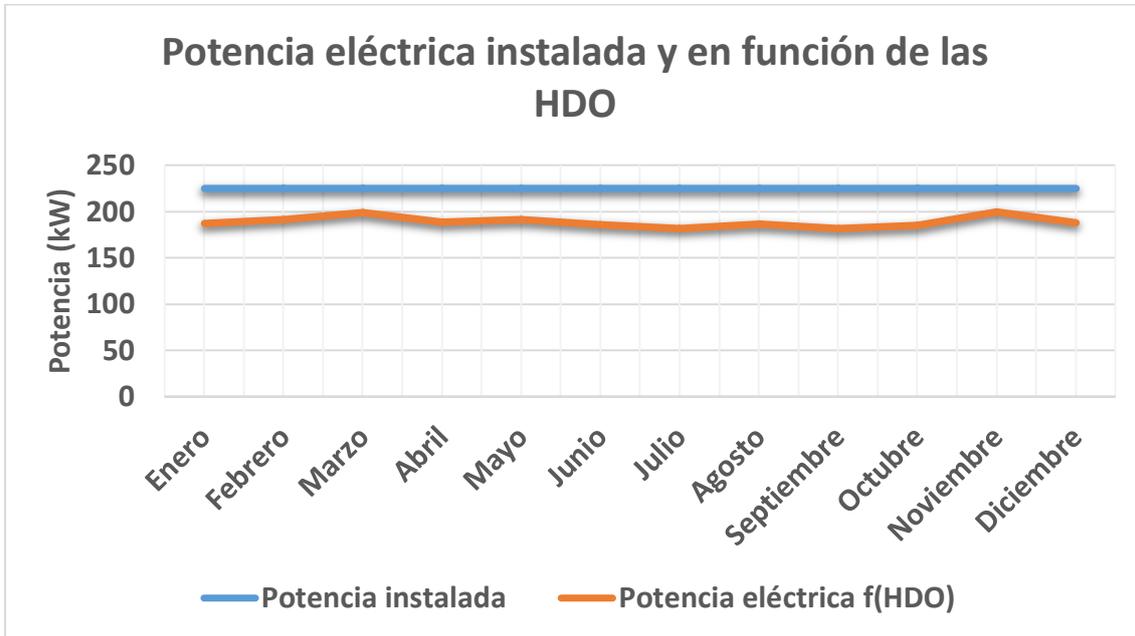


Fig. III.4: Potencia eléctrica instalada y en función del nivel ocupacional.

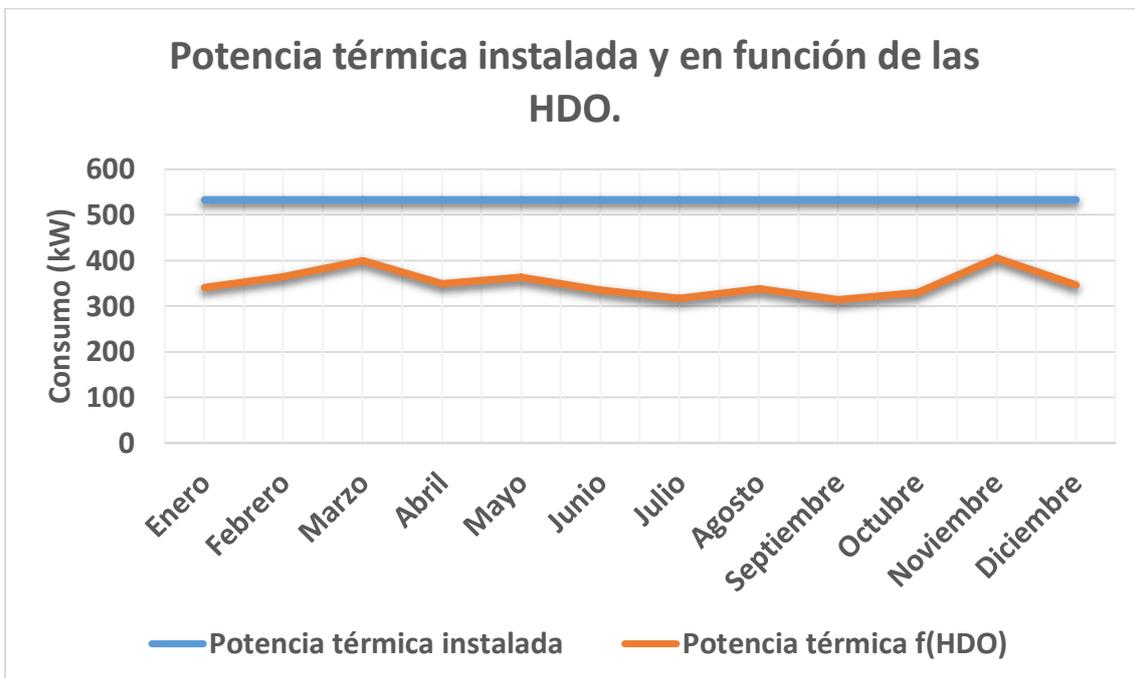


Fig. III.5: Potencia térmica instalada y en función del nivel ocupacional.

Conociendo ya los rangos de potencia eléctrica del hotel se decide elegir como sistema principal del sistema de cogeneración 1 motor Cummins C300D5 de

240 kW de potencia, este motor tendrá que satisfacer la energía eléctrica que necesite el hotel y lo hará al régimen de trabajo que le demande la máquina de absorción. En caso de mantenimiento o rotura del motor elegido se usará como apoyo el grupo electrógeno del hotel de 412 kW de potencia. Los datos del grupo electrógeno seleccionado se muestran a continuación en las tablas III.6A, III.6B, III.6C, III.6D, III.6E y III.6F.

Tabla III.6A: Datos generales del grupo electrógeno.

Grupo electrógeno Cummins	
Modelo	C300D5
Tipo de combustible	Diésel
Frecuencia	60HZ

Tabla III.6B: Consumo de combustible del grupo electrógeno.

Consumo de combustible				
Niveles	300kVA(240kW)			
Carga	1/4	1/2	3/4	Full
galones/hora	3,4	6,2	9,2	12,6
litros/hora	16	28	42	57

Tabla III.6C: Datos generales motor.

Motor	
Fabricante del motor	Cummins
Modelo del motor	QSL9 G5

Tabla III.6D: Flujo de combustible del grupo electrógeno.

Flujo de combustible	
Flujo máximo de combustible (l/h)	165
Entrada máxima de combustible(mmHg)	203
Temperatura máxima de entrada de combustible (°C)	70

Tabla III.6E: Datos de los gases de escape del grupo electrógeno.

Escape	
Flujo de gases de escape a la potencia nominal (m <sup>3</sup> /min)	139,7
Temperatura de los gases de escape (°C)	503

Tabla III.6F: Niveles de intensidad sonora del grupo electrógeno.

<b>Nivel de intensidad sonora (db(A@7m))</b>	71 ± 2,4
--	----------

Tabla III.6G: Precio del grupo electrógeno

<b>Precio (€)</b>	65000
-------------------	-------

### 3.2.4: Ubicación del sistema de cogeneración.

Teniendo en cuenta que el nivel de intensidad sonora del motor elegido es 71 ± 2,4 db(A@7m) se determina la distancia mínima a la que se debe ubicar el sistema para superar los niveles de intensidad de sonido permitido en el hotel (Tabla III.7).

Tabla III.7: Criterios de emisión de ruido en los hoteles. (ASHRAE, s. f.)

Categoría	Condiciones de Verano		Ventilación (cfm)	Nivel de intensidad de ruido (dbA)
	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)		
Habitaciones	24 to 26	50 to 60	30 a 60 por habitaciones	25 a 35
Lobby	24 to 26	40 to 60	15 por persona	35 a 45
Lugares de conferencia	24 to 26	40 to 60	20 por persona	25 a 35

Como la intensidad disminuye 6 dB cada vez que se duplica la distancia a la que se encuentra la fuente sonora (Tippens 2001), y la longitud a la que se encuentra el local que el hotel tiene destinado al grupo electrógeno es 80 metros, aplicando dicha ley solo llegarían al módulo habitacional 11 dB lo que es imperceptible para el oído humano y es un valor mucho menor que los valores de emisión de ruidos en los hoteles permisibles según ASHRAE.

### 3.2.5 Elección de la máquina de absorción

Para elegir la máquina de absorción o Chiller es necesario tener en cuenta la potencia de frío que se requiere, el caudal de los gases de escape del grupo electrógeno y la temperatura de los mismos. Teniendo en cuenta que los gases de escape salen a temperatura mayores a 500°C se hace necesario escoger una máquina de doble efecto a pesar de ser más caras pero este tipo de máquina es la que trabaja con este rango de temperatura.

Como bien se pudo observar en la figura III.5 la potencia de frío instalada en el hotel es de 533 kW y la misma en función de las HDO nunca supera los 405 kW. Por tanto, se seleccionará una máquina que trabaje a 450 kW para garantizar que la potencia de frío que demande el hotel nunca supere la de trabajo de la máquina de absorción.

El Chiller que se seleccionó es marca Broad modelo BE-50 de doble efecto y con una potencia de 582 kW (Tabla III.8), la potencia de frío de la máquina elegida es mayor que la instalada en el hotel por lo tanto la misma no tendrá que trabajar a 100 % de carga, además se garantiza que, si en un futuro el hotel demanda más potencia de frío, el Chiller será capaz de suministrarle la misma.

Tabla III.8: Chiller elegido para satisfacer climatización del hotel.

Marca	Broad
Modelo	BE-50
Capacidad de frío (kW)	582
Flujo de gases (kg/h)	3 633
Precio (€)	146 000

Debido a que la potencia de trabajo del Chiller elegido no superará los 450 kW, es decir, a un 77 % de su máxima potencia y debido a que el flujo de escape es proporcional a la potencia a la que trabaje el equipo, por tanto, el flujo de gases que necesita la máquina de absorción es de 2 809 kg/h.

Sabiendo el flujo de gases que demanda el Chiller, que será igual al que tenga que suministrarle el motor de combustión interna, se puede entonces determinar la potencia de trabajo del motor.

Para realizar la conversión de m<sup>3</sup>/min a kg/h del flujo de gases de escape del motor se hace uso de la ecuación III.6.

$$G = G_{GE} * \delta \text{ ec. III.6}$$

Donde:

$G_{GE} = 139,7 \frac{m^3}{min}$ : Caudal de los gases de escape a la potencia nominal.

$\delta = 0,457 \frac{kg}{m^3}$ : Densidad de los gases de escape a 500°C. (Shackelford 2008)

$$G = 139,7 \frac{m^3}{min} * 0,457 \frac{kg}{m^3} = 63,8 \frac{kg}{min} * 60 \frac{min}{h} = 3866 \frac{kg}{h}$$

Como la máquina de absorción demanda 2 809 kg/h de gases de escape, esto representa un 73 % del flujo máximo de gases de escape del motor por lo tanto la potencia de trabajo del motor será de 175 kW.

En la gráfica III.5 se compara la cantidad de energía eléctrica que pudiese dar el motor teniendo en cuenta que este trabajara a tiempo completo con la energía eléctrica estimada del hotel.

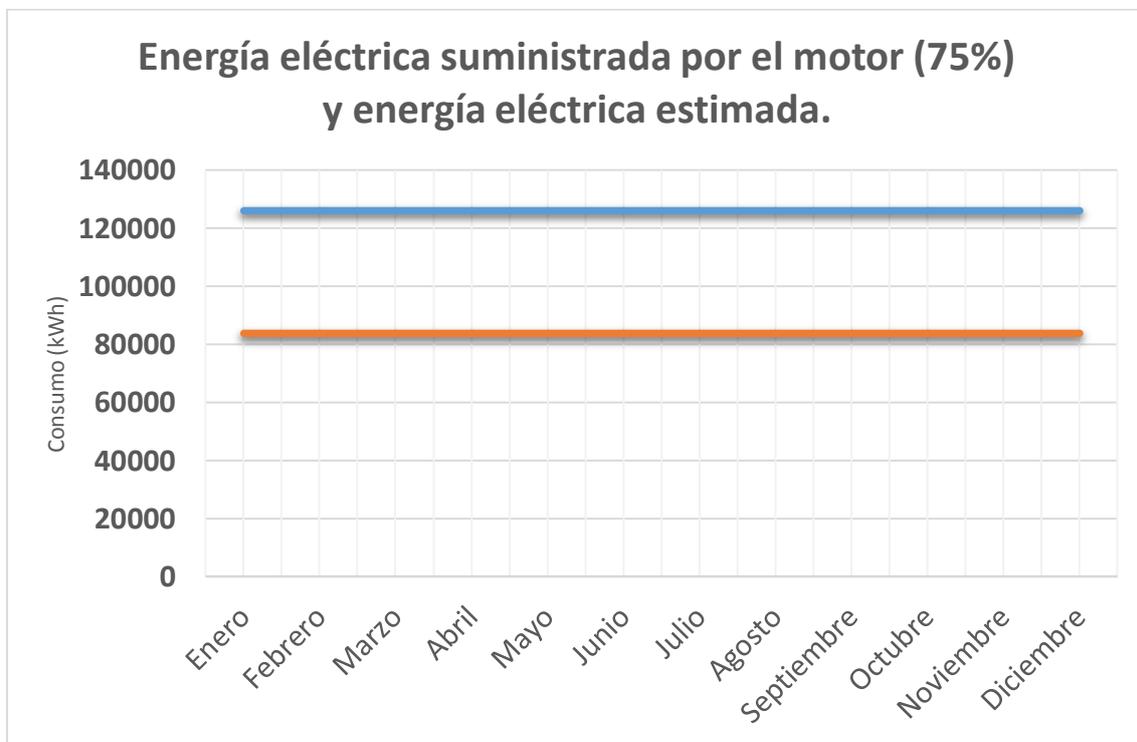


Fig. III.5: Energía eléctrica suministrada por el motor (75%) y energía eléctrica estimada.

Como bien se puede observar en la figura III.5 este motor trabajando al 75 % de su máxima potencia será capaz de suplir la demanda energética del hotel, además se observa que existe un excedente de energía de 40 000kWh mensual que se le puede vender al Sistema Eléctrico Nacional (SEN) y así poder recuperar la inversión monetaria.

### 3.2.6 Comparación de eficiencia del sistema de cogeneración y el sistema actual.

Con la ecuación III.7 se calcula la eficiencia del sistema de cogeneración del sistema propuesto respectivamente para poder comparar con la eficiencia que tiene actualmente el hotel.

$$\eta_g = \frac{E.E_{gen} + E.T_{gen}}{E.P_{consumida}} = 83,5 \% \quad ec. III. 8$$

Donde:

$E.E_{gen}$  : Energía eléctrica generada en una hora (kWh)

$E.T_{gen}$  : Energía térmica generada en una hora (kWh)

$E.P_{consumida}$  : Energía primaria consumida por el sistema en una hora (kWh)

La tabla III.9 muestra el sistema actual del hotel vs el sistema de cogeneración propuesto.

	Sistema actual.	Sistema propuesto.
Tipo de combustible	Fuel oil.	Diésel.
Valor calórico (kcal/kg)	9 050	10 200
Consumo de combustible (TEP)	341	292
Eficiencia (%)	35	83,5
Aporta	Electricidad.	Electricidad+Frío.

La tabla III.9 refleja que el sistema propuesto es considerablemente más eficiente que el sistema que tiene actualmente el hotel, además de que se dejan de consumir alrededor de 49 TEP cada año.

La figura III.6 muestra cómo quedaría compuesto el sistema con la propuesta de cogeneración y se detalla cuenta energía eléctrica de la que produce va destinada al hotel y cuanta es vendida al SEN.

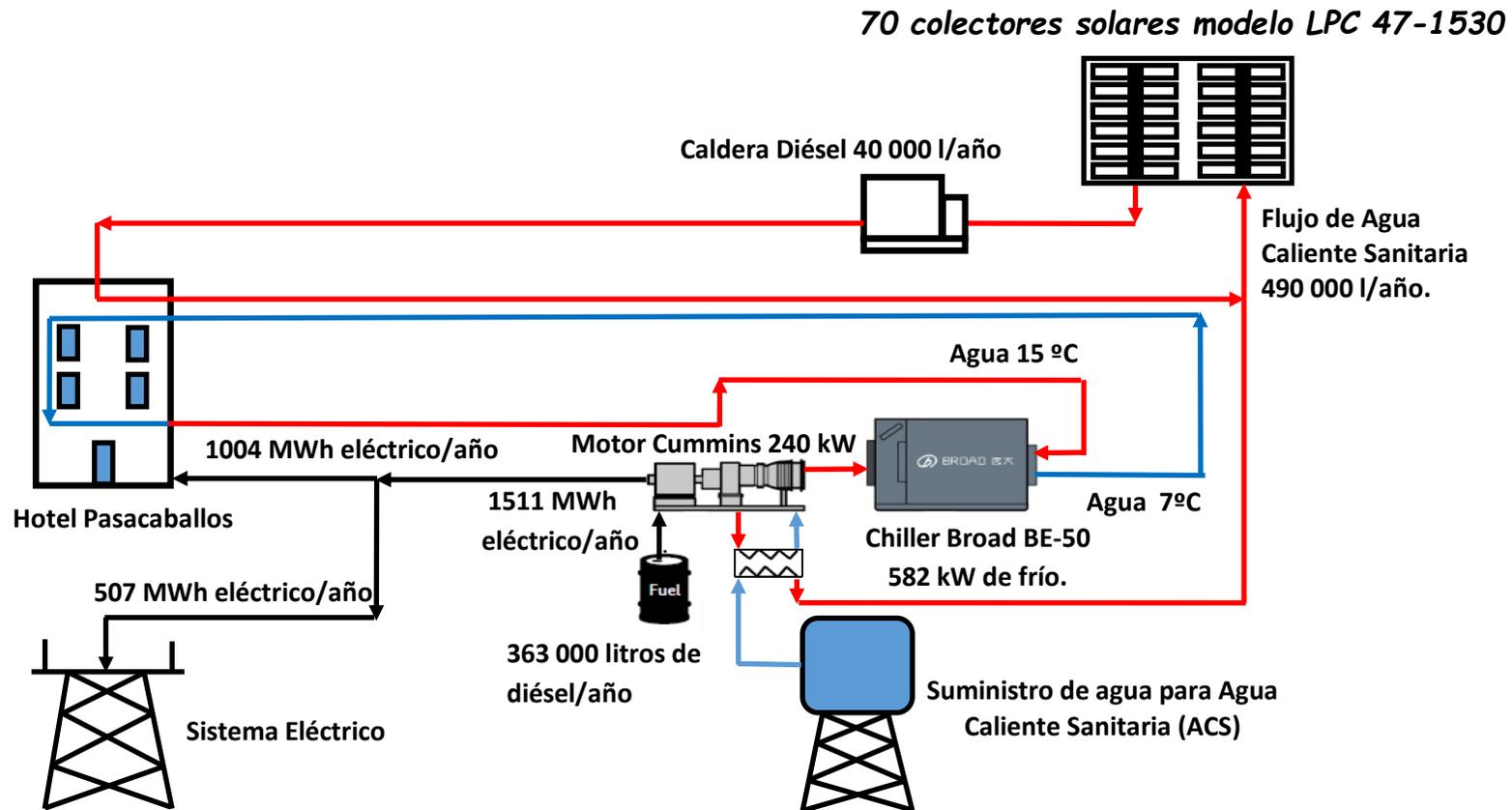


Fig III.6: Representación esquemática de cogeneración propuesto para el hotel Pasacaballos.

### Conclusiones parciales:

- 1- La eficiencia del sistema eléctrico actual es de un 35 %, valor totalmente normal para este tipo de instalación.
- 2- Para las condiciones actuales de funcionamiento es necesario consumir 341 TEP para satisfacer su demanda energética del hotel.
- 3- El consumo de energía eléctrica en las condiciones del sistema de cogeneración del hotel oscila entre 30 000 kWh y 70 000 kWh.
- 4- El consumo de energía térmica estimado es de 163 000 kWh y la misma energía en función de la HDO varía entre 95 000 kWh y 130 000 kWh.
- 5- Para el sistema de cogeneración la relación calor/electricidad es 1,95; la tecnología de mejor ajuste es el motor de combustión interna por lo que se decidió escoger el motor Cummins, modelo C300D5 de 240 kW de potencia.
- 6- Los requerimientos de potencia térmica para climatización son de 450 kW por lo que se seleccionó el Chiller marca Broad modelo BE-50 de doble efecto y con una potencia de 582 kW, que trabajando a un 77 % de su máxima potencia brindará la energía térmica necesaria al hotel.
- 7- El motor de combustión interna trabajando a un 75 genera una energía eléctrica estimada de 126 000 kWh/mes.
- 8- Mensualmente se le podrá vender al SEN una media de 42 000 kWh.
- 9- La eficiencia del sistema de cogeneración propuesto será de un 83,5 %, mayor que el 35 % con el que está trabajando actualmente.
- 10-El sistema propuesto consumirá 49 TEP/año menos que el actual sistema del hotel.

## Capítulo 4: Valoración económica y ambiental del sistema de cogeneración.

### Introducción al capítulo.

Este capítulo tratará sobre el estudio de la valoración económica y el efecto medioambiental que pueda ocasionar la nueva alternativa que ha sido propuesta, así se podrá determinar si es ventajoso o no implementar el sistema de cogeneración a partir de los criterios de satisfacción y recuperación de la inversión.

### 4.1: Valoración económica del sistema actual.

Anteriormente fueron expuestos los principales consumos de los portadores energéticos utilizados a lo largo de los 3 años estudiados, dichos consumos produjeron costos, los cuales serán analizados en este capítulo. El gráfico IV.1 muestra una media anual de estos costos por cada portador energético.

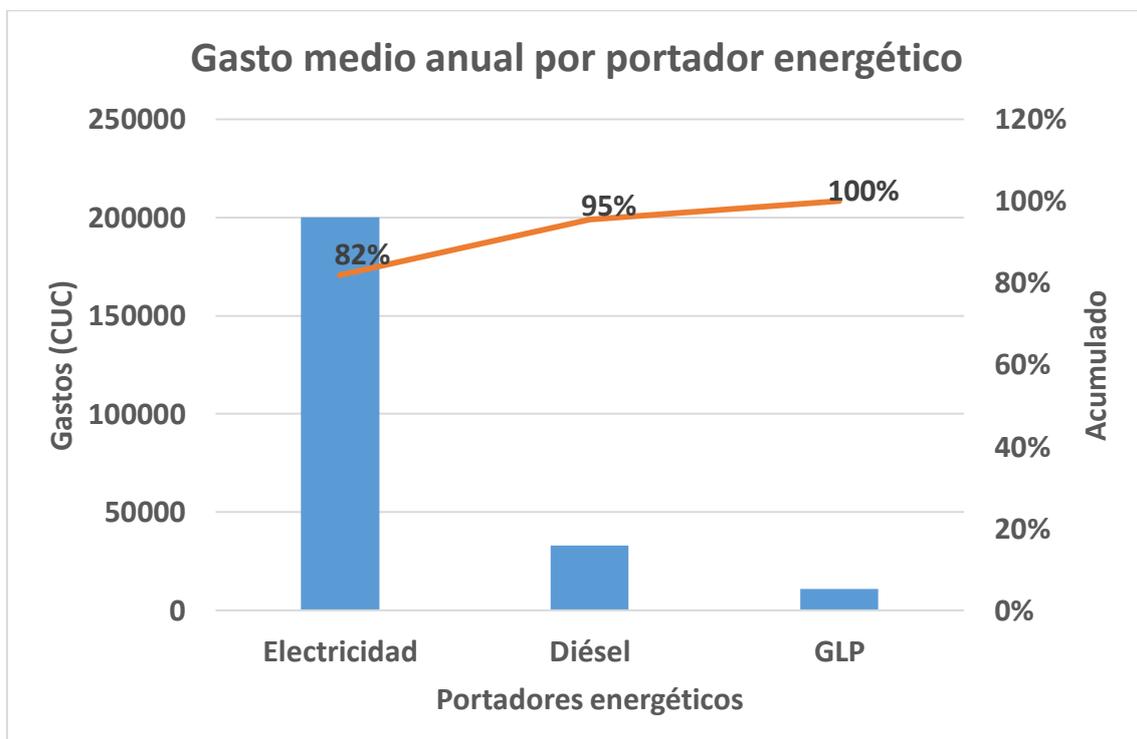


Fig. IV.1: Gastos medios por portador energético durante 2015-2016-2017

Se observa en el gráfico IV.1 como la electricidad representó a lo largo de los tres años analizados más del 80% de los gastos monetarios por portadores del

hotel con un total de 200 000 CUC. En el gráfico previamente realizado hay que destacar que no se incorpora como portador energético la energía solar consumida debido a que la misma no representa gastos monetarios.

En la tabla IV.I se muestra los gastos por portadores y el total de los mismos por año promedio.

Tabla IV.I: Gasto promedio anual por portador energético.

<b>Portador</b>	<b>Gastos(CUC)</b>
Electricidad	200 000
Diésel	33 000
GLP	11 000
<b>Total</b>	<b>244 000</b>

#### **4.2: Análisis económico del sistema de cogeneración.**

La valoración económica consiste en un análisis de prefactibilidad de la variante propuesta en la que se tendrán en cuenta los ingresos obtenidos por el sistema, la inversión inicial que se tiene que hacer para poner marcha el mismo, los gastos por combustible y por operación y mantenimiento, y con los mismo se terminarán el período de recuperación de la inversión y el valor actual neto (VAN) que son los valores que determinan si es factible o no realizar la inversión en cualquier tipo de proyecto.

##### **4.2.1: Inversión inicial.**

La inversión inicial tiene en cuenta el precio de los equipos principales y auxiliares que se compraron para poner en marcha el sistema de cogeneración. En la tabla IV.2 se muestra un resumen de esta inversión. El costo de los equipos auxiliares, más los del proyecto y obra civil, se pueden estimar entre un 15%-30% del importe del conjunto Motor-Chiller, y los costos de instalación de los equipos varía entre los 110-150 CUC/kW instalado. (Borroto 2009)

Tabla IV.2: Inversión inicial por equipos.

<b>Equipo</b>	<b>Costo(CUC)</b>
Motor Cummins C300 D5	74 000
Chiller Broad BE-50	166 000
Equipos auxiliares	36 000

Instalación de equipos	90 000
<b>Total</b>	<b>366 000</b>

#### 4.2.2: Ingresos generados por el sistema.

Cuando se genera electricidad a través de un motor se considera como ingreso aquella energía eléctrica que se le dejó de pagar al Sistema Eléctrico Nacional (SEN) ya que es proporcionada por el grupo electrógeno, además, si existe un excedente de energía eléctrica generada esta se le puede vender al SEN a 0,18 CUC/kWh (MINAZ 2011), y la misma también forma parte de los ingresos. En la IV.3 se muestra los ingresos monetarios generados por el sistema anualmente.

Tabla IV.3: Ingresos por ahorro y venta de electricidad al SEN.

Tipo de Ingreso	Ingreso (CUC)
Ahorro de energía eléctrica	249 000
Venta de energía eléctrica	91 000
<b>Total</b>	<b>340 000</b>

#### 4.2.3: Gastos por combustible y operación y mantenimiento.

Para determinar el gasto por combustible se calculó en el capítulo anterior la potencia de trabajo del motor y las horas de trabajo al año para saber el consumo de combustible que iba a tener la misma, en el caso de los gastos por operación y mantenimiento teniendo en cuenta que los mismos son iguales a 7,083 CUC/MWh generado por el sistema. (Borroto 2009). La tabla IV.4 muestra el valor de los gastos anuales.

Tabla IV.4: Gastos anuales totales del sistema de cogeneración.

Tipo de gastos	Gasto (CUC)
Operación y mantenimiento	11 000
Combustible	200 000
<b>Total</b>	<b>211 000</b>

#### 4.3: Evaluación financiera del proyecto.

Existen varias técnicas de descuento, aunque todas ellas, se basan en el descuento a valor presente de las cantidades futuras o flujos de caja. Los flujos de caja son la diferencia neta entre beneficios y costos en cada uno de los

años refleja el dinero en caja. Para su determinación se toma como convenio que las entradas a caja (ingresos) son positivas y las salidas (gastos) negativas, lo cual quiere decir que los signos de los flujos de caja resultan del balance anual entre costos y beneficios.

#### 4.3.1: Valor Presente Neto (VPN) o Valor Actual Neto (VAN).

Esta técnica se basa en calcular el valor presente neto de los flujos de caja proyectados para todos los años durante el período de evaluación del proyecto. Es una medida de las ganancias que puede reportar el proyecto, siendo positivo si el saldo entre beneficios y gastos es favorable, y negativo en caso contrario. Se determina como:

$$VAN = -K_0 + \sum_{i=1}^n \frac{Fc_i}{(1+D)^i} \quad ec. IV. 1$$

Donde:

$-K_0$ : Inversión o capital inicial. (CUC)

$Fc_i$ : Flujo de caja en el año i. (CUC)

$D$ : Tasa de descuento real utilizada.

El flujo de caja se puede calcular como expresa la ecuación IV.2.

$$Fc_i = (I_i - G_i - Dep) * \left(1 - \frac{T}{100}\right) + Dep \quad ec. IV. 2$$

Donde:

$I_i$ : Ingreso en el año. (CUC)

$G_i$ : Gastos en el año. (CUC)

$T$ : Tasa de impuesto sobre la ganancia (%)

$Dep$ : Depreciación del equipamiento o amortización de la inversión. (CUC)

La depreciación es el proceso de asignar o repartir la inversión inicial en activos fijos, en el período donde dichos activos reportan beneficios a la empresa. Utilizando la ecuación IV.3 se puede calcular la misma.

$$Dep = \frac{K_0}{n} \quad ec. IV.3$$

Donde:

$n$ : Vida útil del sistema. (Años)

#### 4.3.2: Tasa interna de retorno (TIR).

Se define como aquella tasa de descuento que reduce a cero el Valor Presente Neto. En términos económicos, la TIR representa el porcentaje o tasa de interés que se gana sobre el saldo no recuperado de una inversión, de forma tal que, al finalizar el período de evaluación o vida útil, el saldo no recuperado sea igual a cero. El saldo no recuperado de la inversión en cualquier punto del tiempo de la vida del proyecto es la fracción de la inversión original que aún permanece sin recuperar en ese momento.

Analíticamente la TIR se determina como plantea la ecuación IV.4:

$$0 = -K_0 + \sum_{i=1}^n \frac{Fc_i}{(1 + TIR)^i} \quad ec. IV.4$$

Esta ecuación no se puede resolver directamente, sino que se requiere de un análisis iterativo para obtener el valor del TIR.

#### 4.3.3: Período de recuperación de la inversión (PRI).

Es el tiempo en que se recupera la inversión inicial para una tasa de descuento  $D$  considerada. Se calcula como el momento para el cual el VPN se hace cero.

$$0 = -K_0 + \sum_{i=1}^{PRI} \frac{Fc_i}{(1 + D)^i} \quad ec. IV.5$$

Esta ecuación no puede resolverse directamente, por lo que para obtener el valor del PRI se le van adicionando gradualmente a la inversión inicial los flujos de caja anuales hasta que el resultado sea cero, en ese momento se ha recuperado la inversión.

#### 4.3.4: Resultados de la evaluación financiera del proyecto.

Luego de conocer cómo se determinan las tres variables más importantes para la evaluación de cualquier obra financiera (VAN, TIR, PRI) se presenta en la

tabla IV.1 y en la figura IV.2 los resultados de la evaluación económica del sistema de cogeneración.

Tabla IV.1: Resultados de la evaluación económica del sistema de cogeneración.

Datos	Resultados
Inversión inicial ( $K_0$ )	366 000 CUC
Flujo de caja ( $F_{C_i}$ )	89 600 CUC
Tasa de descuento ( $D$ )	0,06
Ingresos ( $I_i$ )	340 000 CUC
Gastos ( $G_i$ )	211 000 CUC
Tasa de impuesto ( $T$ )	35 %
Depreciación ( $Dep$ )	14 640 CUC
Vida útil ( $n$ )	25 Años
<b>Valor Actual Neto (VAN)</b>	<b>800 000 CUC</b>
<b>Tasa Interna de Retorno (TIR)</b>	<b>17 %</b>
<b>Período de recuperación de la Inversión (PRI)</b>	<b>6 Años</b>

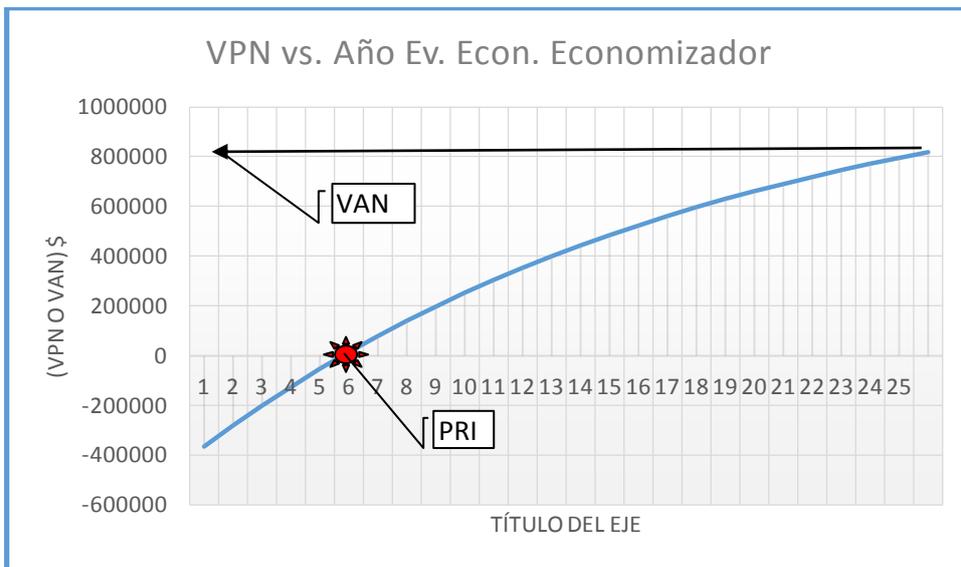


Figura IV.2: Representación gráfica del PRI y del VAN del sistema de cogeneración.

La figura IV.2 muestra que el sistema de cogeneración propuesto para el hotel Pasacaballos es económicamente viable debido a que el valor neto a los 25 años de uso del equipo será de 800 000 CUC y la inversión inicial se recuperará a los 6 años, además que la Tasa Interna de Retorno es de un 17%, esta tasa permite al inversor saber si es viable o no realizar dicha inversión,

como punto de comparación se usa el 8% de TIR del Banco de Crédito y Comercio (BANDEC) y debido a que es mayor el TIR del sistema propuesta, se justifica la inversión monetaria necesaria para llevar a cabo este proyecto.

#### **4.4: Impacto ambiental.**

En nuestro país la gran mayoría de las industrias fueron construidas en las cercanías o dentro de las principales ciudades, las circunstancias socioeconómicas del momento, unidas a la falta de experiencia en cuanto a un correcto análisis para la localización de las industrias, sumado al hecho de que muchas de estas fueran instaladas sin el sistema de depuración requerido, motivaron a la disminución de la calidad del aire en algunos asentamientos (Figura IV.3). Por ello muchas de nuestras ciudades se encuentran contaminadas por encima de los límites permisibles. Según un estudio realizado por la Oficina Nacional de Normalización (Normalización 2008), de acuerdo con las normas que rigen la concentración de contaminantes en el aire (NC 39: 1999 y la NC TS 803: 2010) el nivel de contaminación en las ciudades cubanas tiene seis posibles niveles, los cuales son: crítico, pésimo, malo, deficiente, aceptable y bueno. El nivel "pésimo" tiene lugar en ciudades que tienen una fuerte concentración industrial como son: Santiago de Cuba, Matanzas y Cienfuegos.

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

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

diversidad de industrias que provocan emisiones de contaminantes a la atmósfera en magnitudes suficientes para catalogarlas en el nivel moderado.

En nivel de contaminación "aceptable" se encuentran las ciudades de: Güines, Santa Cruz del Norte, Colón, Manzanillo, Nueva Gerona. Mientras que el nivel de contaminación "bueno" le corresponde a: Baracoa y Puerto Padre donde las afectaciones a la calidad del aire son mínimas. (Normalización 2008)



Fig.IV.3: Niveles de contaminación del aire en provincias (Martínez 2011)

#### 4.4.1: Efectos de los contaminantes sobre la salud.

La contaminación atmosférica reviste gran importancia, debido a su enorme impacto directo sobre la salud humana. La mayoría de los contaminantes presentes en el aire pueden encontrar fácilmente su camino hacia la sangre, debido a que la transferencia de materia a través de la pared de los capilares pulmonares es muy poco selectiva, los gases van a penetrar en mayor o menor medida en función de su solubilidad en agua, por lo que a mayor solubilidad menor penetración ya que se quedaría retenido en la garganta o la boca, y a menor solubilidad mayor posibilidad de penetración en el organismo, los contaminantes gaseosos más importantes son el CO<sub>2</sub>, los SO<sub>x</sub> y los NO<sub>x</sub>. (Leyva 2005)

El CO<sub>2</sub> es el contaminante que más está presente en los procesos de producción de energía, el mismo tiene efectos serios sobre la salud, principalmente respiratorios y cardio-vasculares. En concentraciones altas,

puede causar la muerte, en tiempos de exposición relativamente cortos. Exposiciones a concentraciones de 45 mg/m<sup>3</sup> de CO<sub>2</sub> durante más de dos horas afectan la capacidad de raciocinio de una persona. La exposición a 1000 mg/m<sup>3</sup> de CO<sub>2</sub> y causa un rápido incremento del pulso, lo que provoca coma y convulsiones. (Soria 2013)

#### 4.4.2 Cálculo de las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera del sistema actual y el propuesto.

Teniendo en cuenta los combustibles que son usados en ambos sistemas para el proceso de combustión y posteriormente la obtención de energía eléctrica se procede a determinar con los factores de emisión de CO<sub>2</sub> por tipo de combustible.

Para determinar la emisión de CO<sub>2</sub> se hace uso de la ecuación IV.6 donde se tiene que tener en cuenta la cantidad de combustible utilizado y la cantidad de CO<sub>2</sub> por unidad de masa del combustible.

$$Emisiones\ CO_2 = B * F \quad ec. IV. 6$$

Donde:

*B*: Cantidad de combustible

*F*: Factor de emisión de CO<sub>2</sub> del combustible utilizado

Los resultados para la situación actual y propuesta se muestran en las tablas IV.2 y IV.3 respectivamente, para la misma se tienen en cuenta los factores de emisión de los distintos tipos de combustible. (C.I del Cambio Climático 2011).

Tabla IV.2: Emisiones de CO<sub>2</sub> sistema actual del hotel.

Tipo de combustible	Cantidad	Factor de emisión	Emisiones (tCO <sub>2</sub> )
Fuel	341 Toneladas	3,05 kgCO <sub>2</sub> /kg de fuel	1 040
Diésel	40887 Litros	2,79 kgCO <sub>2</sub> /litro de diésel	114
<b>Total</b>	-	-	<b>1 154</b>

Tabla IV.3: Emisiones de CO<sub>2</sub> del sistema propuesto.

Tipo de combustible	Cantidad	Factor de emisión	Emisiones (tCO <sub>2</sub> )
---------------------	----------	-------------------	-------------------------------

Diésel	403 000 Litros	2,79 kgCO <sub>2</sub> /litro de diésel	1 126
<b>Total</b>	-	-	<b>1 126</b>

Del análisis de ambas tablas anteriormente expuestas se concluye que el sistema de cogeneración es menos contaminante que el sistema que actualmente usa ya que se deja de enviar a la atmósfera 28 toneladas de CO<sub>2</sub> anualmente lo que equivale a 700 toneladas de CO<sub>2</sub> a lo largo de los 25 años lo que justifica la viabilidad ambiental de este proyecto.

**Conclusiones parciales:**

- 1- El hotel paga anualmente 200 000 CUC por consumo de electricidad para las condiciones actuales.
- 2- La inversión inicial en equipos para la puesta marcha del sistema de cogeneración propuesto es de 366 000 CUC, además los gastos del mismo en combustible y mantenimiento están en el orden de 210 000 CUC anuales.
- 3- El hotel ingresará anualmente 340 000 CUC por la venta de energía eléctrica al SEN y por la no compra de la energía eléctrica requerida para su funcionamiento debido a que será generada por la instalación propuesta.
- 4- La evaluación económica del sistema propuesto es satisfactoria, presenta un VAN de 800 000 CUC, un TIR 17 % y la inversión se recuperará en 6 años.
- 5- Con el nuevo sistema, el hotel dejará de emitir 28 toneladas de CO<sub>2</sub>, lo que equivalen a 700 toneladas de CO<sub>2</sub> a lo largo de los 25 años.

## Conclusiones generales

- 1- La evaluación térmica, económica y medioambiental de la propuesta de cogeneración para el hotel Pasacaballos es viable y muy atractiva para que el sector turístico invierta en estas tecnologías.
- 2- A nivel mundial existe una tendencia al crecimiento de las instalaciones de cogeneración en instalaciones hoteleras, ello presta grandes beneficios a los inversores y a los sistemas energéticos de esas naciones.
- 3- Cuba no posee, a pesar de ser contemplada en los lineamientos políticos y económicos de la nación cubana, el marco legal que incentive el uso de la cogeneración en la actualidad. Los mismos solamente son dados al Ministerio del Azúcar (MINAZ), no existiendo esa posibilidad para otros sectores productivos.
- 4- El censo de carga realizado permite concluir que el hotel puede necesitar valores máximos de 184 000 kWh de energía eléctrica y 105 000 kWh de energía térmica, pero en las condiciones actuales de funcionamiento el hotel consumo entre 60 000 kWh/mes y 150 000 kWh/mes de energía eléctrica y el consumo de energía térmica proveniente del calentamiento de ACS oscila entre 17 000 kWh/mes y 40 000 kWh/mes.
- 5- El sistema existente en la actualidad para satisfacer las necesidades energéticas del hotel tiene una eficiencia de transformación energética de un 35 %.
- 6- El sistema propuesto de cogeneración tiene una eficiencia energética de un 84,5 % y puede vender al SEN un excedente de 40 000 kWh/mes.
- 7- El sistema propuesto presenta, dada su ubicación, un ruido de 11 dB que es inferior a los criterios permitidos en hoteles para garantizar el confort de los huéspedes.
- 8- La propuesta de cogeneración requiere una inversión inicial de 366 000 CUC, presenta en su explotación un período de recuperación de 6 años con un VAN de 800 000 CUC y un TIR de 17 % lo cual resulta una inversión muy atractiva.

- 9- La reducción de los consumos de energía con el sistema propuesto ocasiona una disminución de 700 toneladas de emisión de CO<sub>2</sub> a la atmósfera a lo largo de la vida útil del sistema de cogeneración.

## **Recomendaciones.**

- 1- Sugerir a las instancias de gobierno la elaboración de un marco legal que propicie la explotación de la tecnología de cogeneración en el sector productivo y de servicios.
- 2- Utilizar la experiencia internacional de buenas prácticas en el uso de la cogeneración en el sector hotelero-turístico a fin de trasladarla al sector hotelero cubano.
- 3- Sugerir al MINEM el estudio de tarifas de pago de la electricidad cogenerada en instalaciones hoteleras que haga más atractivo la introducción de la cogeneración en la misma.

## Referencias bibliográficas

- Altare. (2013). Micro y minicogeneración.
- Arthur. (2011). Pequeñas plantas de cogeneración.
- Arzos, David. (2011). Micro y minicogeneración. Palma de Mallorca, España.
- ASHRAE. s. f. Criterio de emisión de ruido en hoteles.
- Borroto, Aníbal. (2009). *Temas de cogeneración y generación descentralizada*.
- C.I del Cambio Climático. 2011. Guía práctica para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Cataluña, España.
- CONAE. (1999). Esquemas de cogeneración.
- Consumo de agua potable para hoteles 4 y 5 estrellas, y alternativas de reducción. (2011). *Arquitectura e Ingeniería. Universidad de Matanzas*.
- Conuee. (2009). Cogeneración. <http://www.conuee.gob/>.
- Cruz Serrano, Noe. 2009. Riqueza petrolera hasta 2080. *El Universal*, (2009).
- CUPET. 2016. Valores calórico y factores de conversión de combustibles.
- Faires, Virgil. (1987). *Termodinámica Técnica*.
- International Energy Agency. (2015). Energy supplies. International Energy Agency.
- Leyva, Céspedes. (2005). Evaluación termoenergética y del impacto sobre la calidad del aire.
- Martínez, Daileny. (2011). Alternativas de cogeneración para el Hospital Militar Cdte: "Manuel Pity Fajardo Rivero" de Santa Clara. Villa Clara: Universidad Central Marta Abreu.
- Meza, Darío. (2015). Una América limpia. *El País*.
- MINAZ. (2011). *Tarifa de compra de energía eléctrica para los servicios clasificados como generadores y cogeneradores renovables del MINAZ*. Resolución 425.
- MINEM. (2018) a. Consumo específico de combustible.
- . (2018) b. Programa de Energías Renovables en Cuba. *PABEXPO*.
- Normalización. (2008). Calidad del aire. Emisiones máximas admisibles de contaminantes a la atmósfera en fuentes fijas del sector de la energía.» NC 55:2008.
- Orlando, J.A. (2010). *Cogeneration planner's handbook*.
- Piewack, Scott. (2001). *Cogeneration & Small Power Production Manual*.

- Shackelford, John. (2008). *Introducción a la ciencia de los materiales para ingenieros*. 6.<sup>a</sup> ed.
- Soria, Cristobal. (2013). Aire en ciudades. Principales contaminantes y efectos sobre la salud humana. Sevilla.
- TEXACO. (2013). Indicador TEXACO de eficiencia energética.
- Tippens, Paul. (2001). Física: Conceptos y aplicaciones.
- UE. (2004). Europe Cogeneration.
- Unión Eléctrica. (2018). Situación actual y futura del sistema eléctrico cubano. Habana.

## Anexos

Anexo 1: Consumo de energía eléctrica (kWh) mensuales de 2015; 2016 y 2017.

	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>
<b>Enero</b>	73060	77047	84660
<b>Febrero</b>	63788	72865	89860
<b>Marzo</b>	92848	105652	90930
<b>Abril</b>	84935	114565	99372
<b>Mayo</b>	68497	129505	130258
<b>Junio</b>	81807	116821	138816
<b>Julio</b>	113219	139882	119707
<b>Agosto</b>	113219	136104	145745
<b>Septiembre</b>	119282	129959	92521
<b>Octubre</b>	119169	110603	113578
<b>Noviembre</b>	108177	87926	103151
<b>Diciembre</b>	95946	91358	87749

Anexo 2: Consumo de portadores energéticos 2015;2016 y 2017.

	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>
<b>Electricidad (kWh)</b>	1 133 947	1 312 287	1 296 347
<b>Diésel (l)</b>	29 431	33 157	60 073
<b>GLP (l)</b>	29 573	32 514	28 743

Anexo 3: Niveles ocupacionales del hotel (HDO)

<b>Meses</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>Media</b>	<b>Media diaria</b>
<b>Enero</b>	3032	3387	2677	3032	101
<b>Febrero</b>	3342	3810	2874	3342	111
<b>Marzo</b>	3833	4077	3590	3833	128
<b>Abril</b>	3135	3464	2806	3135	105
<b>Mayo</b>	3328	3012	3645	3328	111
<b>Junio</b>	2954	2776	3133	2954	98
<b>Julio</b>	2708	2663	2754	2708	90
<b>Agosto</b>	2989	2823	3155	2989	100
<b>Septiembre</b>	2666	3174	2159	2666	89
<b>Octubre</b>	2885	2772	2998	2885	96
<b>Noviembre</b>	3901	3216	4586	3901	130
<b>Diciembre</b>	3101	2037	4166	3101	103

Anexo 4: Temperaturas medias (°C) mensuales 2015; 2016 y 2017.

<b>Meses</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>
<b>Enero</b>	23	22,2	22,4
<b>Febrero</b>	22,1	21,6	23,6
<b>Marzo</b>	25,2	24,4	23,1
<b>Abril</b>	26,5	25,5	25,9
<b>Mayo</b>	25,9	26,5	27,1
<b>Junio</b>	26,9	26,9	27,7
<b>Julio</b>	27,6	27,3	27,4
<b>Agosto</b>	27,3	27,3	27,5
<b>Septiembre</b>	27,2	27	26,8
<b>Octubre</b>	26,1	25,4	25,5
<b>Noviembre</b>	25,2	23,1	23,9
<b>Diciembre</b>	25	24,6	22,4