

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN ENERGÉTICO

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN ENERGÉTICA EN LA PRIMERA ZONA
FRANCA DE SALUD DE LA
COSTA ATLÁNTICA

SEBASTIAN ANDRES BOTERO EBRAT



UNIVERSIDAD DE LA COSTA –CUC

DEPARTAMENTO DE ENERGÍA

MAESTRÍA EN EFICIENCIA ENERGÉTICA Y ENERGÍAS

RENOVABLES BARRANQUILLA, COLOMBIA

10 DE MARZO DE 2020

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN ENERGÉTICA EN
LA PRIMERA ZONA FRANCA DE SALUD DE LA COSTA
ATLÁNTICA

SEBASTIAN ANDRES BOTERO EBRAT

Trabajo de investigación presentado como requisito para optar al título de
Magíster en Eficiencia Energética y Energías Renovables

TUTORES DEL PROYECTO:

PhD. ALEXIS SAGASTUME GUTIÉRREZ MSc. MILÉN BALBIS
MOREJÓN

UNIVERSIDAD DE LA COSTA –CUC

DEPARTAMENTO DE ENERGÍA

MAESTRÍA EN EFICIENCIA ENERGÉTICA Y ENERGÍAS
RENOVABLES

BARRANQUILLA, COLOMBIA 10 DE MARZO DE 2020

Resumen

En este trabajo se desarrolla un sistema de gestión energética de la Clínica Portoazul, ubicada en la primera zona franca de salud de la Costa Atlántica. En este caso, se utiliza la metodología propuesta en la norma ISO 50001 para definir el indicador de desempeño, se realizó una búsqueda de artículos de investigación acerca de edificaciones del sector terciario, incluyendo el sector de la salud.

Los resultados del estudio arrojaron la información pertinente para establecer el Pareto de los equipos y/o sistemas con mayor uso significativo de electricidad, con esto se logró obtener el indicador de desempeño de la compañía y además se alcanzaron valores de correlación mayores a $R^2 = 60\%$.

En el desarrollo de la investigación se determinó con exactitud y se evidencia cuál es el principal consumidor de energía eléctrica de la compañía y se especifica hacia a donde se debe encaminar todos los esfuerzos para disminuir el consumo de energía eléctrica y muestra claramente el resultado de la eficiencia del sistema gestión energético implementado.

Palabras Clave: eficiencia energética, gestión energética, indicador de desempeño energético, línea base, edificaciones hospitalarias

Abstract

In this work an energy management system is developed for the Portoazul Clinic, located in the first free health zone on the Atlantic Coast. In this case, the methodology proposed in the ISO 50001 standard is used to define the performance indicator, a search was carried out for research articles about buildings in the tertiary sector, including the health sector.

The results of the study yielded the pertinent information to establish the Pareto of the equipment and

/ or systems with the greatest significant use of electricity, with this it was possible to obtain the company's performance indicator and in addition, correlation values greater than $R^2 = 60\%$ were achieved.

In the development of the research, it is determined with accuracy and evidence which is the main consumer of electric energy of the company and it is specified where all efforts should be directed to reduce the consumption of electric energy and clearly shows the result of efficiency of the energy management system implemented.

Keywords: Energy efficiency, energy management, energy performance indicator, baseline, hospital buildings.

Contenido

Índice	5
Lista de Figuras	7
Lista de Tablas.....	8
Glosario	9
Capítulo 1: Introducción.....	11
1.1 Justificación	11
1.2 Pregunta problema	12
1.3 Hipótesis	12
1.4 Objetivo general.....	12
1.5 Objetivos específicos	12
1.6 Diseño metodológico	12
1.7 Resultados esperados	13
Capítulo 2: Marco teórico y estado del arte.....	14
2.1 Eficiencia energética e impacto ambiental.....	15
2.2 Población, energía y medio ambiente	16
2.3 Eficiencia energética en edificaciones	17
2.3.1 Consumo de Energía y Eficiencia en Edificios: Estado Actual y Futuras Tendencias	
2.3.2 Consumo de energía en hoteles	19
2.3.3 Eficiencia energética en sector salud	19
2.4 Desarrollando la Gestión Energética.....	23
2.4.1 Administración de energía y eficiencia energética industrial.....	23
2.4.2 Impacto potencial.....	25
2.5 Sistemas de Gestión de Energía (EnMs).....	26
2.6 Línea Base (EnB)	27
2.7 Indicadores rendimiento energético (EnPI)	28
2.8 Auditoría energética.....	31
2.8.1 Requisitos para los organismos que ofrecen auditoría y certificación de sistemas de gestión de energía.....	32
2.9 Mantenimiento y mejora de un sistema de gestión de energía	34
2.10 Rendimiento energético, línea base (EnB), e indicadores de rendimiento	

energético (EnPIs)	35
2.11 Visión General ISO 50001	35
2.12 Medición y chequeo del rendimiento energético de organizaciones	36
2.13 Pirámide normativa de la ISO 50000	37
Capítulo 3: Auditoría energética de la Clínica Portoazul	39
3.1 Primera Zona Franca de Salud de la Costa	39
3.2 Torre Clínica Portoazul	41
3.3 Sistema Eléctrico de la Clínica Portoazul	43
3.4 Diagnóstico Energético	45
3.4.1 Potencia eléctrica	48
3.4.2 Consumo de electricidad	52
3.4.3 Distribución consumo energía eléctrica por subsistemas	53
3.5 Línea base e indicador de desempeño energético	57
Capítulo 4: Resultados	63
4.1 Aplicando filtrado Hampel	63
4.2 Medidas iniciales para mejorar la eficiencia energética	69
4.2.1 Alcance Técnico del sistema de monitoreo remoto	70
4.2.2 Variables a monitorear	70
4.2.1 Análisis y procesamiento de señales	70
4.3 Distribución consumo electricidad sistema	71
4.4 Desempeño energético Chillers	71
4.3.1 Eficiencia Compresor	72
4.3.2 Eficiencia de intercambiadores de calor y approach	74
4.3.3 Diferencia de temperatura en el evaporador	75
4.3.4 Diferencia de temperatura en el condensador	75
4.3.5 Set Point equipo	76
4.3.6 Sobrecalentamiento y subenfriamiento	76
4.4 Línea meta energética	76
Conclusiones	78
Recomendaciones	79
Bibliografía	80

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43

Lista de Figuras

Figura 1. Demanda anual de energía primaria ahorrada IEA miembros. Energy Efficiency Indicators Highlights. International Energy Agency (2016).....	14
Figura 2. Emisiones globales de gases de efecto invernadero derivadas de mejoras en la eficiencia energética. Energy Efficiency Indicators Highlights. International Energy Agency (2016).....	15
Figura 3. Normas sistemas de gestión energía: (Byrne et al., 2014)	37
Figura 4. Relación normas ISO (Byrne et al., 2014)	38
Figura 5. Complejo Portoazul.....	40
Figura 6. Clínica Portoazul.....	42
Figura 7. Distribución matriz energética	46
Figura 8. Costo económico de la matriz energética.....	47
Figura 9. Curva característica energía eléctrica por hora diaria	48
Figura 10. Curva característica energía eléctrica por hora semanal	49
Figura 11. Curva característica energía eléctrica por hora mensual	50
Figura 12. Curva característica energía eléctrica periodo estudio por hora	51
Figura 13. Consumo energía eléctrica por día.....	52
Figura 14. Consumo energía eléctrica periodo de investigación.....	53
Figura 15. Distribución del consumo eléctrico por subsistemas	55
Figura 16. Comportamiento por franja horaria subsistema Chillers & Blindobarras	56
Figura 17. Consumo energético por subsistemas en tablero chillers & blindobarras	57
Figura 18. Relación ocupación contra consumo eléctrico.....	58
Figura 19. Relación entre el consumo energético y la ocupación	59
Figura 20. Correlación ocupación Vs consumo energía eléctrica	62
Figura 21. Correlación ocupación Vs consumo electricidad con filtrado Hampel	64
Figura 22. Correlación ocupación equivalente I Vs consumo energía eléctrica.....	65
Figura 23. Correlación ocupación I Vs consumo electricidad con filtrado Hampel	66
Figura 24. Correlación ocupación II Vs consumo electricidad	67
Figura 25. Correlación ocupación equivalente II Vs consumo energía eléctrica con filtrado Hampel.....	68
Figura 26. Chiller centrífugos Trane CVHE capacidad 380 toneladas	69
Figura 27. Ciclo de refrigeración Chiller centrífugo marca Trane	69
Figura 28. Consumo eléctrico sistema de climatización por equipos.....	71
Figura 29. Eficiencias reales Chiller CHVE Clínica Porto azul al 76% de carga (arriba) y al 58% de carga (abajo).	72
Figura 30. Comportamiento del Chiller centrífugo	73
Figura 31. Comportamiento presiones Chiller centrífugo	73
Figura 32. Comportamiento Approach Chiller centrífugo	75

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN ENERGÉTICO

Lista de Tablas

Tabla 1. Evolución consumo energía por sector Europa (Allouhi et al., 2015)	18
Tabla 2. Consumo energía por tipo edificación. (Allouhi et al., 2015)	18
Tabla 3. Ejemplos de indicadores de desempeño	29
Tabla 4. Matriz energética Clínica Portoazul	45

Glosario

Se presentan los siguientes conceptos claves para una familiarización de los conceptos tratados a continuación en este documento.

IDE: Índice de desempeño energético, valor cuantitativo o medida del desempeño energético definido por las compañías.

LBE: Línea base energética, referencia cuantitativa que proporciona la base de comparación del desempeño energético

Normalización: Proceso de modificar datos energéticos con el fin de tratar factores de influencia.

Periodo de desempeño: Periodo que se evalúa por el IDE

Periodo de la línea base: Periodo para el cual la LBE ha sido establecida

Periodo de reporte: Periodo para el cual una organización quiere evaluar cambios en sus IDE en relación al periodo de la LBE

Energía: Electricidad, combustibles, vapor, calor, aire comprimido y otros similares; puede definirse como la capacidad de un sistema de producir una actividad externa o de realizar trabajo.

Uso significativo de la energía – USE: Uso de la energía que ocasiona un consumo sustancial de energía y/o que ofrece un potencial considerable para la mejora del desempeño energético

Medición del desempeño energético: Proceso verificable y reproducible para obtener un valor cuantificado en relación con el desempeño energético

Límites de los indicadores de desempeño energético: Límites de IDE

Límites en las instalaciones: Equipos, sistemas y procesos bajo análisis que identifican cuales elementos son incluidos con el fin de realizar análisis sobre el desempeño

Desempeño energético: Es un concepto extenso y por lo tanto son los resultados que pueden ser medidos en correlación con la eficiencia energética, el uso y consumo de la energía.

Uso de la energía: Es la forma y/o modo en que se le da una aplicación a la energía, puede ser como iluminación, ventilación, calefacción, climatización, proceso, calor, vapor, etc.

Consumo de energía: Es la suma de energía que es medible y en Colombia está dado en kilovatios hora (kWh) y este puede ser medido en tiempo dado por medidores estacionarios o móviles. Cantidad de energía utilizada.

También hace referencia a la cantidad de la energía contenida en un gas o combustible, se utilizan factores o multiplicadores para derivar la cantidad de energía contenida en ellos.

La medición del consumo depende del uso de la energía y esta es la base poder establecer o fijar la eficiencia energética y por ende una actividad primordial para la mejora del desempeño energético.

Eficiencia energética: Es la correlación cuantitativa entre el resultado del desempeño puede ser producción o servicios versus la entrada de energía utilizada.

La eficiencia energética puede incluir los siguientes ejemplos:

- *Eficiencia de conversión:* Índice de energía de salida sobre índice de energía de entrada
- *Energía necesaria vs energía usada:* Donde la energía necesaria puede ser obtenida de un modelo teórico o de otro tipo de correlación
- *Salidas vs entradas:* Por ejemplo, la energía usada sobre producción o los grados día por energía usada
- Cuando un índice de eficiencia energética es calculado, la entrada como la salida deben estar especificados en cantidad. En resumen, es la cantidad producida (salidas) en relación a la cantidad de energía consumida

Capítulo 1

Introducción

En las últimas décadas se presta mayor atención y es una prioridad a la hora de optimización de consumo de energía realizar gestiones energéticas a nivel facilities, que son grandes edificaciones y centros de negocios los cuales incluyen decenas de miles de metros cuadrados de área. a son una de las prioridades.

El uso de energía a nivel global está aumentando significativamente debido al incremento de los patrones de consumo y al aumento de la población. Esto combinado con el agotamiento de las reservas de combustibles fósiles ha impulsado el desarrollo de políticas de eficiencia energética. En particular, los hospitales representan aproximadamente el 6% del consumo total de energía en el sector de edificios de servicios públicos. Específicamente, la calefacción, ventilación y acondicionamiento de aire (HVAC) son los principales consumidores de electricidad en los hospitales. (Teke & Timur, 2014).

Este trabajo se enfoca en desarrollar una metodología de gestión energética en la Clínica Portoazul para mejorar su desempeño energético. De esta forma, se evaluarán los consumos de energía para desarrollar la planeación energética y establecer objetivos y metas, para desarrollar un sistema de gestión que mejore el desempeño energético y permita mantenerlo en el tiempo.

1.1 Justificación

A nivel mundial las edificaciones consumen aproximadamente el 36% de la energía final y producen cerca del 40% de las emisiones de CO₂. Considerando que en promedio pasamos el 90% del tiempo en edificaciones, se evidencia la necesidad de hacer más eficiente su desempeño energético (Daniela Rendon, 2020). Los entes gubernamentales se han enfocado en promover e implementar nuevas fuentes de energía renovables, pero es importante aspirar a un crecimiento sostenible. Para esto, se requiere el desarrollo de proyectos de eficiencia energética para no solo generar energía de forma más amigable con el medioambiente, sino también para disminuir

el consumo per cápita en el camino hacia el desarrollo sostenible.

Uno de los retos más importantes que afrontaremos es el cambio climático en gran parte influenciado por el incremento del consumo per cápita de energía y el aumento de la población. Por lo tanto, es necesario transformar la mentalidad de uso de las edificaciones y evolucionar a procesos más eficientes y amigables con el medioambiente (Daniela Rendon, 2020)

La clínica Portoazul cuenta con sistema BASS (building automation and security system) para la operación automatizada de los sistemas HVAC, iluminación, plantas eléctricas, subestación eléctrica,

ascensores, gases medicinales, extinción y detección de incendios, CCTV y control de acceso, pero no cuenta con sistema adecuado para garantizar un consumo eficiente de los portadores energéticos. Sin una evaluación adecuada no se pueden establecer los patrones de consumo que permitan identificar ineficiencias en el uso de los sistemas energéticos, para tomar acciones correctivas hacia mayores estándares de eficiencia energética. El desarrollo de un sistema de gestión energética permite identificar y eliminar ineficiencias tanto en la explotación de sistemas energéticos como en el uso de los portadores energéticos.

1.2 Pregunta problema

¿Cómo mejorar el desempeño energético de la Clínica Portoazul?

1.3 Hipótesis

Introducir un sistema de gestión energética reducirá el consumo de energía de la Clínica Portoazul

1.4 Objetivo general

Desarrollar un sistema de gestión energética para la Clínica Portoazul

1.5 Objetivos específicos

1. Analizar los sistemas de gestión energética implementados en el sector hospitalario y/o otras edificaciones del sector terciario
2. Desarrollar una auditoria energética de la Clínica Portoazul
3. Identificar oportunidades de ahorro energético en la Clínica Portoazul
4. Implementar herramientas de gestión energética para el aprovechamiento de las oportunidades de ahorro energético identificadas en la Clínica Portoazul

1.6 Diseño metodológico

En este estudio se aplicará la investigación cuantitativa en el desarrollo del objetivo general, y de los objetivos específicos, para esto se proponen las siguientes tareas de investigación:

1. Analizar el consumo de energía: Identificando las fuentes actuales de energía y evaluando su uso en la clínica
2. Identificar las áreas de uso significativo de la energía: Identificando las instalaciones, maquinaria, sistemas, procesos y personal de la organización que incidan significativamente en

el consumo de energía e identificando variables que afecten los usos significativos de energía. Determinando el desempeño energético actual estimando el consumo futuro de energía.

1.7 Resultados esperados

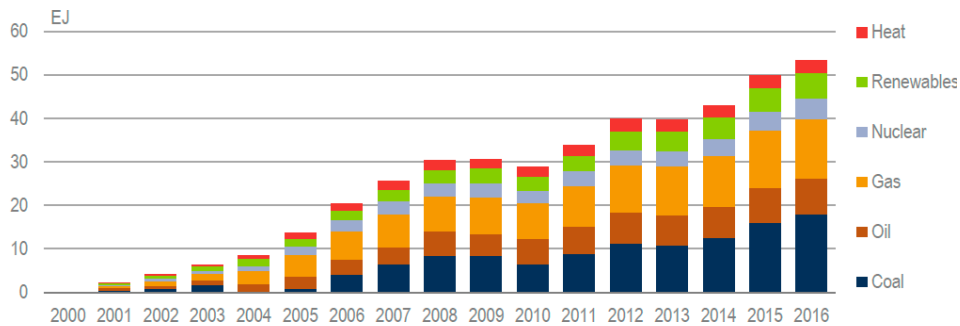
1. Diseño de un sistema de planificación energética que permita monitorear y controlar el consumo energético de la Clínica Portoazul
2. Desarrollo de herramientas de gestión que identifiquen desviaciones en los consumos energéticos para tomar acciones de detección y control de ineficiencias en el consumo de energía

Capítulo 2

Marco teórico y estado del arte

La eficiencia energética incluye acciones tanto en el lado de la oferta como de la demanda de energía, sin sacrificar la calidad del servicio o producto del sistema, mejorando la seguridad del suministro de electricidad. De esta forma se logran ahorros tanto en el consumo de energía como en los costos económicos en general. Adicionalmente, se reducen las emisiones de gases de efecto invernadero y otros impactos ambientales asociados (Langlois, 2018).

La eficiencia energética de las diferentes tecnologías está en continua evolución: vehículos que requieren menos combustible, electrodomésticos que consumen menos electricidad, sistemas de iluminación que consumen la cuarta parte de la energía de sistemas más antiguos, etc. (González González et al., 2018). No obstante, en la actualidad solamente el 37% de la energía primaria se convierte en



energía útil, perdiéndose 63% de la energía en los sistemas de transformación, transmisión, y uso de la energía.

Figura 1. Demanda anual de energía primaria ahorrada IEA miembros.

Energy Efficiency Indicators Highlights. Fuente: International Energy Agency (2016).

La eficiencia energética en su concepción más amplia pretende mantener el servicio que presta, reduciendo el consumo de energía reducción las pérdidas energéticas a través de la incorporación de las prácticas operacionales y la introducción de tecnologías más eficientes. Las mejoras en eficiencia energética se pueden lograr

tanto en el lado de la oferta de energía (SSM Supply Side Management)

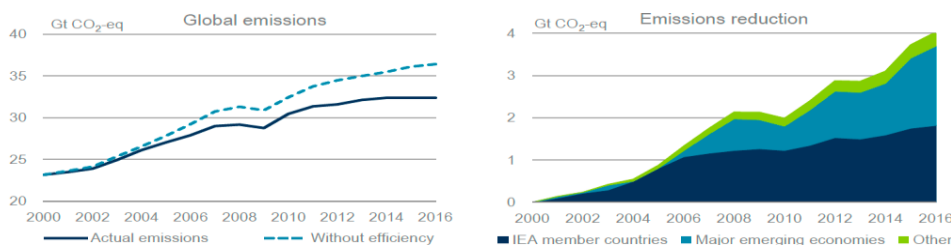
como en el lado de la demanda (DSM Demand Side Management). En general, la eficiencia energética ~~se enfoca~~ preocupa más el lado de la demanda, por requerir una labor de mayor detalle, y depender de la decisión de muchos usuarios (ej. Empresarios, especialistas técnicos, residenciales, etc.). La conservación de energía eléctrica, que es el componente principal de las políticas de eficiencia

energética desde el lado de la demanda, se ~~ha venido~~ viene aplicando durante algunos años en Europa, América del Norte, Japón y entre otros países (Thinate et al., 2017). En la década de 1980s, las políticas energéticas sufrieron transformaciones conceptuales importantes, principalmente en el sector eléctrico de Estados Unidos y Canadá. Se introdujo un enfoque más competitivo, donde eran preponderantes los acuerdos entre los diferentes protagonistas (los clientes, las empresas eléctricas y los proveedores de bienes y servicios), buscando así compartir los beneficios resultantes. Dentro de ese enfoque se creó un nuevo mercado de productos y servicios, con oportunidades de financiamiento novedosas para el sector privado (Koulamas et al., 2018).

Todo ello implica la necesidad de realizar inversiones para lograr mayores eficiencias, pero estas inversiones deberían ser rentables. La rentabilidad en este caso aumenta a medida que los precios de la energía se incrementen, por lo tanto, la importancia de los precios de la energía es vital para decidir la introducción de equipos más eficientes en sus instalaciones y para mantener programas de eficiencia energética. Por otra parte, la eficiencia energética contribuye a la reducción del calentamiento global y otros impactos ambientales (Poveda, 2007).

2.1 Eficiencia energética e impacto ambiental

La eficiencia energética es una alternativa importante frente a la crisis económica, energética y ambiental, y se considera una fuente de energía alternativa y una vía importante para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, como muestra



la figura 2.

Figura 2. Emisiones globales de gases de efecto invernadero derivadas de

mejoras en la eficiencia energética. Energy Efficiency Indicators Highlights.

Fuente: International Energy Agency (2016)

Aunque el ahorro energético no es la única vía para la resolución de los problemas ambientales, sí es una contribución significativa para reducir el cambio climático, el calentamiento global, y las emisiones de NO_x (Llamas, 2009).

Los edificios son responsables de aproximadamente el 40% del consumo global de energía (Allouhi et al., 2015). La mayor parte se utiliza en los sistemas de iluminación, calefacción, refrigeración y aire acondicionado. En la actualidad, las medidas de eficiencia energética se introducen desde el proyecto de las edificaciones, para reducir el consumo de energía para la calefacción, refrigeración, iluminación, ventilación y suministro de agua caliente. El uso de medidas pasivas como la ventilación natural o híbrida en lugar del aire acondicionado, pueden reducir drásticamente el consumo de energía en edificaciones. Adicionalmente, el uso de fuentes de energía renovable en edificaciones reduce la dependencia de los combustibles fósiles. Por lo tanto, promover aplicaciones renovables innovadoras y reforzar el mercado de energía renovable contribuirá a la preservación del ecosistema al reducir las emisiones a nivel local, regional y global.

Garantizar las condiciones de confort al tiempo que se optimiza el desempeño económico de sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC) en edificaciones es un problema multi-variable. El confort depende de parámetros ambientales como la velocidad del aire, la temperatura, y la humedad relativa. Además, se ve afectado por el tipo de edificación y por las tecnologías de los diferentes sistemas como el de iluminación. En general, la rentabilidad global puede mejorarse con la aplicación de estándares adecuados de eficiencia energética, manteniendo condiciones de confort

2.2 Población, energía y medio ambiente

Las fuentes de combustibles fósiles se formaron durante millones de años. Sin embargo, una parte significativa se ha consumido en poco más de 100 años. Esto ha incrementado la presión para el uso de fuentes de energía alternativa. Por ejemplo, en 2002 La Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible en Johannesburgo se comprometió a “alentar y promover el desarrollo de fuentes de

energía renovables para acelerar el cambio hacia el consumo y la producción sostenibles". Reducir el vínculo entre consumo de recursos y productividad puede lograrse:

- Reducir la contaminación ambiental generada por el crecimiento económico
- Mejorar la eficiencia en el consumo de recursos
- Evaluar el ciclo de vida de productos y servicios

- Concientizar a los consumidores sobre el uso productos y servicios
- Evaluar políticas de gobierno que promuevan el desarrollo e implementación de energías renovables

Las áreas urbanas a nivel global han aumentado durante las últimas décadas, y en la actualidad cerca del 50% de la población mundial es citadina. Se pronostica que la mayor parte del crecimiento demográfico entre 2000 y 2030 se concentrará en zonas de grandes ciudades. Con un crecimiento anual estimado de 1.8%, la población urbana se duplicará en 38 años (Wang et al., 2016). El aumento de la urbanización global genera un crecimiento de las ciudades y de la población. En la actualidad, el 2% de la superficie terrestre está ocupada por ciudades, cuya huella ecológica es mucho mayor que la superficie que ocupan (Wang et al., 2016). En general, la población mundial está aumentando con rapidez, adicionalmente el uso per cápita de energía también se está incrementando. Si estas tendencias se mantienen, la demanda de energía aumentará desproporcionadamente. Esto combinado con el agotamiento de los combustibles fósiles, motivan a la búsqueda de mayores estándares de eficiencia energética y la introducción de fuentes de energía renovables.

El desarrollo y uso de la tecnología genera diferentes problemas ambientales, que afectan al clima y los ecosistemas en diversas formas. En general los impactos ambientales se han incrementado sustancialmente en las últimas décadas. En general, los problemas ambientales son de origen antropogénico y en gran medida son influenciados por el aumento de la población global, los patrones de consumo actuales, la actividad industrial, y el consumo de energía entre otros factores. Durante los 1970s, el monitoreo y control ambiental se enfocaba en la emisión de SO₂, NO_x, CO₂, material particulado, y CO. En la actualidad, las preocupaciones ambientales se han extendido al control de otros contaminantes atmosféricos de impacto local, regional, o global (Llamas, 2009).

Los problemas del consumo de energía no solo impactan sobre el calentamiento global y el cambio climático producto de la emisión de gases de efecto invernadero, también influye sobre la contaminación del aire, la generación de lluvias ácidas, el agotamiento de la capa de ozono, la deforestación, y la emisión de sustancias radiactivas (Omer,

2008). Estos impactos deben reducirse en el camino hacia el desarrollo sostenible.

2.3 Eficiencia energética en edificaciones

2.3.1 Consumo de Energía y Eficiencia en Edificios: Estado Actual y Futuras Tendencias

Los retos de sostenibilidad en materia de ahorro energético y protección del medio ambiente son enormes y se requiere de cambios importantes, no solo en la forma en que se suministra la energía, sino

también en la forma en que se consume. Por otro lado, la relación entre energía y desarrollo económico ilustra la demanda de energía y permite darle seguimiento continuo, para lo cual es necesario cuantificar y categorizar el uso final de energía por sector.

Generalmente, las edificaciones no se identifican como un sector cuando se categoriza el consumo final de energía. De hecho, muchas agencias y organizaciones categorizan el consumo final en: industria, transporte y "otros". Las edificaciones son un consumidor importante en la categoría "otros" (Allouhi et al., 2015). El término "Otros" es vago e incorpora varios subsectores que incluyen las edificaciones. Según la agencia internacional de energía (EIA), otros incluyen el sector residencial, comercial, servicios públicos, agricultura/silvicultura, pesca y consumo no especificado. En consecuencia, el consumo de energía en edificaciones a menudo no ha sido bien estimado.

La tabla 1 muestra el consumo del sector *otros* donde se incluyen las edificaciones

Tabla 1.
Evolución consumo energía por sector Europa.

Sector	1	2	2	2	R	e	l	a	c	i	ó	n	V	a	r	i	a	c	i	ó	n	M								
	9	0	0	0																			l							
	7	0	0	1																				a						
	3	1	4	1																					c					
	(i				
	R																										ó			
	e																											n		
	f																												V	
	e																													a
	r																													
e				i																										
n				a																										
c				c																										
i				i																										
a				ó																										
)				n																										

					e d i f i c i o n
I n d u s t r i a l	3 5 , 2 0 %	3 1 , 1 0 %	2 9 , 6 0 %	3 1 , 6 0 %	- 0 , 1 2 5
T r a n s p o r t e	2 4 , 6 0 %	3 4 , 6 0 %	2 8 , 3 0 %	3 0 , 2 0 %	0 , 2 6 1
O t r o s	4 0 , 2 0 %	3 4 , 4 0 %	4 2 , 1 0 %	3 8 , 2 0 %	- 0 , 0 4 9

El sector otros, es el de mayor consumo en los grupos de grandes consumidores de energía eléctrica desde 1976.

Tabla 2.

Consumo energía por tipo edificación.

<u>Tipo</u> <u>Edifi</u>	<u>U</u> <u>S</u> <u>A</u>	<u>A</u> <u>u</u> <u>s</u>	<u>U</u> <u>K</u>
-----------------------------	----------------------------------	----------------------------------	----------------------

<u>Edificaci</u> <u>ón</u>		<u>t</u> <u>r</u> <u>a</u> <u>l</u> <u>i</u> <u>a</u>	
Oficinas	19%	25%	22%
Comercio	23%	35%	17%
Hotels	7%	11%	6%
Instituciones Educativas	11%	13%	10%
Hospitales y Clínicas	8%	14%	6%
<u>Otros</u>	<u>32%</u>	<u>20%</u>	<u>29%</u>

El estudio de consumo de energía y eficiencia en edificios realizado por (Allouhi et al., 2015) sugiere que el sector de edificaciones tiene una alta demanda de energía que está aumentando. Por consiguiente, varios gobiernos han promovido leyes para aumentar la eficiencia energética de las edificaciones.

Los hoteles requieren de altos consumos de energía para su funcionamiento. Para monitorear y controlar el consumo mensual y anualmente se han propuesto diferentes indicadores. En general, los indicadores desarrollados no permiten detectar y controlar de forma rápida malas prácticas operacionales e ineficiencias en las instalaciones hoteleras. Adicionalmente, estos indicadores no consideran la influencia de variables ambientales como la temperatura ambiente, o cuando lo hacen se basan en el uso de coeficientes complejos que impiden su implementación en instalaciones hoteleras.

El uso de indicadores de rendimiento energético para evaluar y controlar el consumo de electricidad en hoteles se discutió para dos hoteles cubanos (Cabello et al., 2016). Para ello se considera la influencia de la temperatura exterior en el indicador de desempeño energético. En base a este indicador se desarrollan gráficos de control diario, lo que permite una detección rápida de sobreconsumos, malas prácticas, e ineficiencias hacia un menor consumo de electricidad. Una ventaja importante de este enfoque es que no se requieren inversiones para su implementación. El sistema presentado se implementó en dos hoteles cubanos de diferentes características. Los resultados muestran que se redujo el consumo de electricidad en un 10% y un 11%, en 2014 en comparación con 2013 en cada hotel. Este estudio demuestra que lograr altos estándares de eficiencia energética requiere de una adecuada selección e implementación de indicadores de desempeño energético (EnPI). Definir un EnPI efectivo en el sector hotelero requiere considerar parámetros del clima como la temperatura ambiente, y parámetros operativos como el nivel de ocupación, área climatizada, etc.

2.3.2 Eficiencia energética en sector salud

Debido a la complejidad del servicio en el sector hospitalario deben considerarse algunos parámetros adicionales para definir EnPIs que reflejen la eficiencia en el uso de la energía. Los hospitales tienen consumos importantes de energía para su funcionamiento. En general, los hospitales y centros de salud (HCS) tienen

mayores requisitos de ventilación, aire acondicionado, y esterilidad, lo que implica un mayor consumo de energía.

Los edificios hospitalarios tienen altos requerimientos de confort y servicios médicos específicos, convirtiéndolos en grandes consumidores de energía eléctrica. Por lo que, optimizar su consumo de

energía sería muy útil para determinar que hospitales son o no eficientes. Sin embargo, determinar un valor único para toda la tipología hospitalaria no resultaría útil. Establecer un mismo valor para hospitales que ofrecen diferentes servicios, conociendo que unos son mucho más intensivos en energía que otros, o que distan mucho en número de camas, ubicación geográfica no aportará ninguna información fiable de eficiencia. La concreción del consumo óptimo está condicionada por las peculiaridades que influyen en el gasto de energía de cada hospital y que, por ello, es necesario conocerlas. Por consiguiente, sería necesario establecer tipologías con unas características comunes, que faciliten su comparación. Se considera, sin embargo, que es posible definir una única metodología común que conduzca hacia el desempeño energético óptimo, a pesar de que, numéricamente, será diferente para cada agrupación, previamente definida (López Cristlà, 2011).

El uso de energía en edificios comerciales y residenciales ha aumentado entre un 20% y un 40% en países desarrollados en la última década (Allouhi et al., 2015).

En Malasia se caracterizó el consumo de energía en el sector de edificaciones comerciales, residenciales, públicos y/o gubernamentales, donde se enfatizó en el consumo de electricidad de los motores en hospitales públicos. En edificaciones hospitalarias en general el consumo eléctrico promedia 232 kWh/m² (Saidur et al., 2010) (incluyendo el consumo en iluminación, equipos biomédicos, computadores, etc.). En comparación, Tailandia promedia una intensidad energética en edificaciones hospitalarias de 148,8 kWh/m² (Saidur et al., 2010). El estudio muestra un potencial de eficiencia energética importante implementando variadores de velocidad a los motores eléctricos. En este caso, no se desarrollaron líneas base o indicadores de desempeño energético.

En Extremadura (España) los centros de salud consumen anualmente más de 22 millones de kWh de electricidad, 450.000 lts de gasóleo y 40.000 m³ de gas natural. Las emisiones de gases de efecto invernadero resultante son de más de 27.000 toneladas de CO₂. La implementación de una gestión energética adecuada reduciría el consumo de energía y las emisiones contaminantes. Con este objetivo se evaluó la

viabilidad de la auditoría energética como herramienta de gestión en atención primaria, para disminuir su demanda energética (García Sanz-Calcedo et al., 2011). En total, se realizaron 55 auditorías energéticas en centros de salud de Extremadura (50% de los centros en funcionamiento) entre 2005 y 2010. Se detectó que la climatización consume el 52% de la demanda anual de energía de un centro de salud, la iluminación el 30%, el agua caliente sanitaria el 8% y otros usos finales el 10%. No obstante, no se propone ningún renfoque de planeación energética para reducir los consumos de energía en este caso.

Los hospitales y centros de salud (HCS) se encuentran entre los mayores consumidores de las edificaciones comerciales. En China, los HCS representan una parte sustancial del consumo de energía comercial total. De forma similar a las HCS en Europa y Norteamérica, los hospitales en China suelen ser grandes edificios generalmente entre los edificios menos eficientes energéticamente. A diferencia de los edificios residenciales y comerciales, los HCS funcionan 24 horas al día todo el año. La rápida urbanización de China implica el desarrollo de nuevos HCS, particularmente en las mega ciudades. En estos casos existe un gran potencial para mejorar la eficiencia energética en los HCS. Lo que está reflejado en la política pública del gobierno, que administra la mayoría de las HCS (Wang et al., 2016). El análisis anterior se basó inicialmente en una encuesta del estado de las políticas de ahorro de energía y de graficar los consumos en los HCS de china para luego listar una serie de barreras a la eficiencia energética:

- Antigüedad
- Factores económicos
- Obsolescencia de equipos
- Cambios tecnológicos

En este caso no se realizó caracterización energética de los HCS.

La auditoría energética de un hospital público en Malasia identificó el uso de energía en los equipos y su desglose en el consumo energético (Saidur et al., 2010). Se identificaron y aplicaron diferentes medidas de ahorro energético para los motores eléctricos utilizados en el hospital. Se estimó un ahorro de energía anual de 212 MWh, 250 MWh y 317 MWh de alta eficiencia al 50%, 75% y 100% de carga respectivamente, comparado con un consumo anual de 19.311 MWh. Adicionalmente, el uso de variadores de velocidad ahorre 1.735 MWh, 4.048 MWh y 6.361 MWh de consumo de energía anual para reducciones de velocidad del 20%, 40% y 60%, respectivamente. El periodo de retorno de la inversión de los motores de alta eficiencia es inferior al año, lo que es económicamente viable. Sin embargo, el uso de unidades de velocidad variable se encontró que era económicamente viable solo para motores grandes con alta reducciones de velocidad. La reducción en el

consumo de energía permitiría reducir una cantidad considerable de las emisiones de gases de efecto invernadero.

La identificación precisa del consumo final de energía en los hospitales es una tarea clave para determinar el potencial de ahorros y, por lo tanto, para establecer los criterios de diseño apropiados. Sin embargo, las correlaciones entre el consumo y los indicadores funcionales para los hospitales en el caso de España, aún no se han contabilizado en detalle. Un total de 80 sistemas de gestión y auditoría en 20 hospitales en España se analizaron en el período 2005-2014 a fin de buscar correlaciones entre el

consumo de energía y las condiciones climáticas, producto interno bruto (PIB), área de superficie construida, número de camas disponibles y número de empleados (González González et al., 2018). Los resultados establecen que el consumo de energía promedio de un hospital en España en un año típico para las condiciones de funcionamiento estándar son de 0,27 MWh/m², 9,99 MWh/trabajador y 34,61 MWh/cama (desviaciones estándar 0,07 MWh/m², 3,96 MWh/trabajador y 12,49 MWh/cama, respectivamente). En este caso, la ubicación geográfica mostraba una influencia directa sobre el consumo de energía, a diferencia del tipo específico de gestión, el número de camas disponibles, el PIB o las condiciones climáticas particulares.

En Colombia, se estima que para el 2040 la demanda energética aumentará en un 40% (Daniela Rendon, 2020). Con esta proyección, se deduce que este es un tema de gran importancia, sobre todo para cumplir el compromiso de reducir en un 20% las emisiones de CO₂ para el 2030 firmado en el COP25 (United Nations Climate Change Conference 2019).

Colombia ha podido avanzar en la creación de estrategias orientadas a la eficiencia energética y el Gobierno ha iniciado un proceso con propuestas, como la creación e implementación del Programa de uso racional y eficiente de energía y fuentes no convencionales (PROURE), plan de acción indicativo de eficiencia energética (PAI-PROURE 2017 – 2022) junto con la elaboración del Plan Energético Nacional (PEN) 2020 y 2050 trazando objetivos claves como la electrificación, descentralización y en especial la digitalización. El programa Building Energy Efficiency Accelerator (BEA), liderada por el Consejo Colombiano de Construcción Sostenible y el World Green Building Council, que buscan generar un cambio a nivel global. Este programa acogió a Bogotá como una de las 23 ciudades del mundo en las que se tiene como meta duplicar la tasa de eficiencia energética en el sector de la construcción para 2030 y lo harán reduciendo en un 25% el consumo de servicios públicos.

En el caso de las organizaciones, tanto públicas como privadas, las certificaciones

ISO ~~50000~~50001 logran describir un sistema organizado en torno a la eficiencia energética. En el caso colombiano, para el 2017 se contaban con cerca de 15 organizaciones certificadas ISO 50001. Es necesario

aumentar el interés en conseguir este tipo de certificaciones que direccionan a las empresas en su camino hacia la reducción de su huella de carbono. En la actualidad, las empresas colombianas se están comprometiendo cada vez más en ser parte del cambio, teniendo en cuenta que, de cada 10 empresas, 7 quisieran empezar a trabajar en su transformación energética. De allí la importancia que desde el Gobierno y los entes de regulación sigan promoviendo acciones que permitan que Colombia encuentre más caminos hacia la eficiencia energética (Daniela Rendon, 2020).

2.4 Desarrollando la Gestión Energética

En febrero de 2008, la Junta de Gestión Técnica de ISO aprobó el establecimiento de un nuevo comité de proyecto (PC 242 - Gestión de la Energía) para desarrollar la nueva Norma del Sistema de Gestión ISO para la Energía. ANSI y la Asociación Brasileña de Normas Técnicas (ABNT) sirven conjuntamente como secretaría de la PC 242 para liderar el desarrollo de ISO 50001. Esta norma establece un marco internacional para instalaciones industriales, comerciales o institucionales, para administrar su energía, incluido su adquisición y uso. El estándar proporciona técnicas de gestión para aumentar la eficiencia energética, reducir costos y mejorar el desempeño ambiental. Se espera que las corporaciones, las asociaciones de la cadena de suministro, los servicios públicos, las compañías de servicios de energía y otros utilicen ISO 50001 como una herramienta para reducir la intensidad energética y las emisiones de carbono en sus propias instalaciones (así como las que pertenecen a sus clientes o proveedores) y para comparar sus logros.

Esto pone en marcha el desarrollo de ISO 50001 para su publicación a principios de 2011. Algunos de los principales problemas abordados por ISO PC 242 incluyen:

- La definición de energía y rendimiento energético, con el término "rendimiento energético" que abarca la eficiencia energética, la conservación de la energía y el mayor uso de energía renovable, según lo determine la organización implementadora en sus políticas, metas y objetivos
- El papel de la alta dirección para establecer políticas y capacitar al personal para implementarlas
- El término "equipo", tal como se aplica a las personas responsables de llevar a cabo la política de gestión de energía. El equipo describe los recursos de personal necesarios para implementar y mantener los planes de acción y los objetivos de la organización y podría ser una sola persona
- Un enfoque para la planificación energética que se centre en el proceso que

una organización usaría tanto para implementar como para mantener su sistema de gestión; función de comprar suministros, equipos, productos y servicios eficientes energéticamente en un estándar

- globalmente relevante
- La función de las energías renovables en la gestión de la energía y el rendimiento energético, y la necesidad de un anexo que ayude a las organizaciones pequeñas y medianas.(Berkeley, 2010)

2.4.1 Administración de energía y eficiencia energética industrial

Las empresas que tratan la energía como un recurso manejable e integran su programa de energía en sus prácticas de gestión tienen un contexto organizacional para buscar continuamente oportunidades

para optimizar el consumo de energía. La industria utiliza sistemas muy complejos organizados para satisfacer las necesidades de producción de la empresa. Los programas de eficiencia energética requieren un enfoque holístico para optimizar los sistemas mientras se cumplen los requisitos comerciales primarios, efectivos y sostenibles en un entorno industrial/servicios.

El propósito de un estándar de sistema de gestión de energía es proporcionar orientación a las instalaciones industriales y comerciales para integrar la eficiencia energética en sus prácticas de gestión, incluido el ajuste de los procesos de producción y la mejora de la eficiencia energética de los sistemas industriales. No obstante, el negocio principal de una instalación industrial es obtener ganancias a través de la producción de bienes y servicios, no de la eficiencia energética. Si bien ha habido movimiento en los mercados industriales en los últimos años para atribuir un mayor valor a la eficiencia energética como una vía para abordar el cambio climático, generalmente en respuesta a los esquemas de comercio de emisiones o al activismo de los accionistas, el hecho sigue siendo que la primera prioridad de la industria es continuar siendo rentable. La reciente reactivación de los argumentos sobre cómo la industria no puede afrontar el cambio climático durante la actual recesión económica pone de manifiesto esta dualidad. La eficiencia energética ha demostrado, una y otra vez, que es económicamente viable al tiempo que tiene un efecto positivo en la productividad. A pesar de esto, la eficiencia energética todavía se considera un lujo que la industria no puede permitirse, en lugar de una inversión estratégica en la rentabilidad futura.

Para ser efectivos, los programas de eficiencia energética deben involucrar a la industria a nivel gerencial, así como a la ingeniería de las instalaciones. Debido a que la toma de decisiones industriales se genera en la gerencia superior, la falta de participación en la gestión da como resultado oportunidades perdidas para la mejora de la eficiencia energética, incluso cuando el personal técnico está educado y es consciente de las oportunidades (Berkeley, 2010).

El objetivo de un estándar de gestión energética es proporcionar un marco organizativo para que las instalaciones industriales integren la eficiencia energética en sus prácticas de gestión, incluido el ajuste de los procesos de producción y la mejora de la eficiencia energética de los sistemas

industriales. La gestión de la energía busca aplicar al uso de la energía la misma cultura de mejora continua que las empresas industriales han utilizado con éxito para mejorar las prácticas de calidad y seguridad. Se necesita un estándar de gestión de energía para influir en cómo se gestiona la energía en una instalación industrial, logrando así una reducción inmediata del uso de energía a través de cambios en las prácticas operativas, así como creando un entorno favorable para la adopción de medidas y tecnologías de eficiencia energética más intensivas en capital. El estándar de gestión energética requiere una

instalación para desarrollar un plan de gestión energética. En las organizaciones que no cuentan con un plan, se pueden conocer oportunidades de mejora, pero no se pueden promover o implementar porque la gestión de la energía no forma parte de la cultura organizacional y del proceso normal de planificación. Esta falta de planificación refuerza las barreras tradicionales, que incluyen la falta de comunicación entre los sitios, la comprensión deficiente de cómo crear apoyo para un proyecto de eficiencia energética, finanzas y datos financieros limitados, poca responsabilidad por las medidas y el riesgo percibido de cambiar el statu quo. Además, las métricas comerciales, como los indicadores de rendimiento energético que relacionan el uso de energía con la producción, generalmente no se utilizan, lo que dificulta documentar las mejoras en el rendimiento energético (NSAI: National Standards Authority of Ireland, 2018).

2.4.2 Impacto potencial

Las normas ISO existentes para las prácticas de gestión de calidad (ISO 9001) y los sistemas de gestión ambiental (ISO14001) han estimulado con éxito mejoras sustanciales y continuas de eficiencia en todo el mundo. La aparición de la norma ISO 50001, el estándar internacional de gestión energética, se espera que tenga efectos de largo alcance en la eficiencia energética de la industria cuando se publicó a principios de 2011. Esto será especialmente cierto en los países en desarrollo y las economías emergentes que aún carecen de estándares nacionales de gestión energética. así como políticas y mecanismos para lograr una mayor eficiencia en el sector industrial. La experiencia pasada con los estándares de gestión ambiental muestra que los estándares ISO han proporcionado estímulo y un marco para el desarrollo de estándares, políticas, leyes y regulaciones nacionales. Además, todo indica que ISO 50001 se convertirá en un factor importante en el comercio internacional, tal como lo ha sido la ISO 9001.

La ISO 50001 tiene el potencial de impactar el 60% del uso de energía del mundo, incluyendo no solo la industria, sino también los sectores comerciales e

institucionales. Sobre la base de los ahorros demostrados que han logrado las organizaciones que han implementado planes de gestión de energía y un marco de mejora continua, se pueden lograr mejoras de la intensidad de energía

de más del 2,5% por año y se pueden mantener durante la próxima década. La Agencia Internacional de Energía ha declarado que *“La industria manufacturera puede mejorar su eficiencia energética en un impresionante 18 a 26%, al tiempo que reduce las emisiones de CO₂ del sector en un 19 % a 32%, basado en tecnología probada. Las opciones de mejora identificadas pueden contribuir a una reducción del 12% en la energía global y las emisiones de CO₂ relacionadas con el proceso” (IEA 2007)*

La aparición de ISO 50001 es un vínculo importante para realizar estos impactos. (International Organization for Standardization, 2020).

2.5 Sistemas de Gestión de Energía (EnMs)

La Organización Internacional de Normalización (ISO) ha identificado la gestión de la energía como una de sus cinco principales prioridades para el desarrollo de normas. La ISO 50001 establece un marco internacional para instalaciones industriales, comerciales o institucionales, o empresas enteras, para administrar su energía, incluidas las adquisiciones y el uso. Se espera que este estándar logre aumentos importantes a largo plazo en la eficiencia energética (más del 20 %) en instalaciones industriales, comerciales e institucionales y que reduzca las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en todo el mundo (Berkeley, 2010). Esta es una herramienta estratégica que ayuda a las organizaciones a colocar un sistema de gestión de energía y usar más su energía eficiente y efectivamente.

Un sistema de gestión energética ayuda a las organizaciones a gestionar mejor su uso de energía. Por lo tanto, mejorar la productividad implica desarrollar e implementar una política energética estableciendo objetivos alcanzables para el uso de energía y el diseño de planes de acción para llegar a ellos y medir el progreso. Esto podría incluir la implementación de nuevas tecnologías energéticamente eficientes, reduciendo el desperdicio de energía o mejoras de los procesos actuales para reducir los costos de energía. De esta forma, las organizaciones cuentan con un marco para desarrollar una energía efectiva de sistema de gestión basado en el proceso de "Planificar-Hacer-Verificar-Actuar" para la mejora continua. La ISO 50000 proporciona un conjunto de requisitos que permitir a las organizaciones:

- Desarrollar una política para un uso más eficiente de energía
- Fijar metas y objetivos para cumplir con esa política
- Recopilar datos para comprender mejor y hacer decisiones sobre el uso de energía
- Medir los resultados obtenidos
- Revisar la efectividad de la política

- Mejorar continuamente la gestión energética

Está diseñado para ayudar a las organizaciones a mejorar su rendimiento energético a través de un mejor uso de sus activos intensivos en energía. El rendimiento energético mejorado puede proporcionar rápidos beneficios para una organización al maximizar su uso de fuentes de energía y activos relacionados con la energía, reduciendo tanto el costo como el consumo. Puede ser utilizada por organizaciones grandes y pequeñas, y sus beneficios pueden tomar muchas formas para algunos, se

trata de reducir el impacto del medio ambiente y mejora de la reputación; para otros, el objetivo es reducir costos y mejorar competitividad.(NSAI: National Standards Authority of Ireland, 2018)

El Sistemas de gestión de energía (EnMS) es un enfoque estructurado para la gestión de la energía para permitir que las oportunidades de mejora energética sean medidas, evaluadas y apropiadas para ser instigadas y monitoreadas para mejorar de forma continua:

- EnMS necesita ser diseñado e implementado para entregar la política para garantizar la mejora del rendimiento energético
- Buena gestión de documentos
- Apelando a las PYMES
- EnMS requiere liderazgo superior o apoyo de gestión (Langlois, 2018)

2.6 Línea Base (EnB)

La organización debe establecer una (s) línea (s) de referencia energética utilizando la información inicial revisión energética, considerando un período de datos adecuado para el uso de energía de la organización y consumo. Los cambios en el rendimiento energético se medirán contra la línea de base

(s)de energía. Los ajustes a la línea de base se realizarán en el caso de uno o más de los siguientes:

- Los IDEs ya no reflejan el uso y consumo de energía de la organización
- Se han producido cambios importantes en el proceso, los patrones operativos o la energía sistemas
- Según un método predeterminado
- La línea de base de energía debe mantenerse y registrarse (Byrne et al., 2014)

La EnB establece una comparación de planta o proceso rendimiento en el tiempo, en relación con su medida desempeño en un año específico (es decir, de referencia). También se define como una referencia cuantitativa que proporciona una base para la comparación del rendimiento energético. La EnB se basa en datos de un período

específico de tiempo y / o condiciones, según lo definido por la

organización, y proporciona información básica para comparar el rendimiento energético, que refleja un período específico de tiempo. La EnB se utiliza para determinar la mejora del rendimiento energético, como referencia antes y después, o con y sin la implementación de acciones de mejora del rendimiento energético.

La EnB es un requisito del estándar para que las actividades de monitoreo y medición comparen los datos con estándar de desempeño. Algunos ejemplos de EnB incluyen:

- kWh consumidos en un período de tiempo. Puede compararse la eficiencia energética, el uso y el consumo se pueden comparar con estos datos de referencia para determinar el desempeño actual

2.7 Indicadores rendimiento energético (EnPI)

La organización debe identificar los EnPIs apropiados para monitorear y controlar su desempeño energético. Las metodologías para determinar la actualización de los EnPIs se registrarán y se revisarán regularmente. Los EnPIs serán revisados y comparados a la línea base de energía según corresponda (Byrne et al., 2014).

Un indicador de desempeño energético se define mejor como un punto de referencia contra el cual se pueden hacer comparaciones. Los indicadores de desempeño energético son una herramienta valiosa para evaluar el rendimiento energético, lo que permite a una empresa comparar el rendimiento de actividades similares y determinar el margen de mejora.

Como se describe en ISO 50006, el EnPI representa el valor cuantitativo o la medida de rendimiento energético, que está definido por la organización y podría expresarse como una métrica simple, razón o un modelo complejo. Los indicadores deben proporcionar información relevante acerca del desempeño de consumo de energía eléctrica para permitir que varios usuarios dentro de una organización comprendan el rendimiento energético y tomar medidas para mejorarlo.

Los EnPI se pueden aplicar a nivel de instalación, sistema, proceso o equipo para proporcionar varios niveles de enfoque. De acuerdo con ISO 50006, la organización debe establecer un objetivo energético y una línea de base de energía para cada EnPI.

El objetivo de energía representa un requisito de rendimiento energético cuantificable y detallado, aplicable a la parte de la organización u organización en su conjunto, que surge de los objetivos energéticos y eso debe establecerse y cumplirse para lograr este objetivo. (Thesis, 2016).

Objetivos de los EnPIs:

- Identificar y probar uno o más EnPIs

- Identificar factores que pueden afectar los EnPIs
- Establecer una línea de base energética
- Analizar el rendimiento energético
- Desarrollar herramientas para el monitoreo y control del consumo de energía
- Mejorar la comprensión del consumo de energía
- Aumentar la eficiencia energética y disminuir la intensidad energética

- Diferenciar: *Eficiencia* (producción por unidad de energía) de la *Intensidad* (cantidad de energía por producción)
- A nivel gubernamental son un instrumento útil para medir el progreso de los esfuerzos sectoriales de reducción de emisiones de CO₂
- Implementar proyectos que reduzcan el consumo de energía o aumenten la producción
- Identificar los factores que influyen en el consumo de energía
- Darle seguimiento al rendimiento en el proceso, instalación, nivel

corporativo o industrial. Existen diferentes tipos de EnPI, una selección adecuada de EnPI es aquella que, con la mínima inversión y esfuerzo necesario, proporciona retroalimentación y dirección sobre el progreso que se está haciendo y si la política energética está en camino de alcanzar sus objetivos y cumplir sus objetivos. Quizás el EnPI más simple y utilizado es la medición del consumo de energía. Dicho indicador funciona con éxito para las instalaciones cuyas entradas no cambian estacionalmente y cuyos procesos no dependen de factores externos como la temperatura. En el caso general, el consumo de energía responde a factores tales como el uso, la ocupación y el clima. Para las operaciones industriales, los niveles de producción son factores esenciales, así la energía por ocupante podría ser significativa para los administradores de edificios mientras que el consumo por unidad de producción podría ser un EnPI útil para industriales. Si no se usa adecuadamente, los EnPI pueden proporcionar información confusa o errónea (Thesis, 2016).

- *Tabla 3.*

Ejemplos de indicadores de desempeño.

Indicador	Descripción	Unidad
Consumo de energía general	Absoluto	kWh, MWh, Moneda
Consumo de energía específica	Consumo energía total Cantidad producción	kWh / Kg kWh /
Fuente de energía compartida	Consumo energía compartida x 100 % del consumo energía total	Porcentaje

		j e (%)
Intensidad de la energía	Energía proceso/área x 100 % del consumo energía total	P o r c e n t a j e (%)
Eficiencia	Potencia salida útil x 100 % De la potencia suministrada	P o r c e n t a j e (%)
Tasa de uso	Energía salida útil x 100 % Del suministro energía	P o r c e n t a j e (%)

Orientad o a la industria	Consumo energía total x 100 % de la rotación	k W h / M o n e d a M W h / M o n e d a
--	---	--

Fuente: (Thesis, 2016)

El proceso para el desarrollo, uso y actualización de los EnPI se ilustra en ISO 50006 y consta de tres grandes pasos:

- La información relevante que debe adquirirse incluye:
 - Límites
 - Flujo de energía
 - Variables relevantes
 - Factores estáticos
 - Datos
- Los indicadores de rendimiento energético deben identificar:
 - Usuarios
 - Características específicas
- Establecimiento de líneas de base energéticas:
 - Período adecuado
 - Pruebas de EnB

Se pueden desarrollar óptimos EnPIs siguiendo las siguientes consideraciones:

- Determinar el nivel de evaluación (sistema, proceso, instalación)
- Determinar el uso de energía de interés (variable dependiente)
- Identificar los impulsores de consumo (variable independiente)
- Recolectar el consumo histórico y los datos del conductor
- Establecer un año de referencia (año 0)
- Analizar el vínculo entre consumo y controladores.
- Evaluar los cambios en los EnPIs en relación con el año 0

Algunos ejemplos de EnPIs desarrollados en todos los sectores de la economía:

- kW/h consumidos por sitio
- kW/h por metro lineal de producto producido
- kW/h por número de personal
- kW/h por metro cuadrado de espacio de oficina ocupado

Es de vital importancia determinar unos rangos adecuados de EnPI relevantes en función de lo

resultados de la revisión energética. Los EnPI debería ayudar a demostrar una mejora continua en la eficiencia, el uso y / o el consumo.

2.8 Auditoría energética

La auditoría energética especifica los requisitos del proceso para llevar a cabo una auditoría energética en relación con el rendimiento energético. Esta puede ser aplicada a todo tipo de establecimientos y organizaciones, y a todas las formas de energía y uso de energía, también especifica los principios para llevar a cabo auditorías energéticas, los requisitos para los procesos comunes durante las auditorías energéticas y los resultados para las auditorías energéticas. Hay que tener claro que esta no contempla los requisitos para la selección y evaluación de la competencia de los organismos que prestan servicios de auditoría energética, y no abarca la auditoría del sistema de gestión energética de una organización, como se describe en ISO 50003. (International Organization for Standardization, 2020):

- Crea consenso sobre una muestra más amplia de países
- Se puede usar con recursos internos, externos o una combinación de recursos
- Más del 95% de las organizaciones que implementa esta norma son pymes (Oung, 2018)

Mejoras:

- Amplifica la importancia de la comunicación, los roles, responsabilidades y autoridades
- Agrega mediciones de datos
- Descomponer el análisis en grupos de trabajo más pequeños (Oung, 2018)

Existen tres tipos de auditorías energéticas adecuadas tanto para grandes organizaciones como para pymes y cumplen con los requisitos normativos:

- Tipo 1: Adecuado donde se requieren más detalles técnicos
- Tipo 2: Adecuado para oportunidades con alto costo de capital y riesgo
- Tipo 3: Adecuado para una visión general de alto nivel
 - Para la mayoría de las organizaciones pequeñas
 - Para priorizar áreas de investigación

Existen tres tipos porque las organizaciones tienden a no realizar auditorías detalladas de toda la organización como un solo ejercicio. Entonces se busca:

- Tener conocimiento / visión general de alto nivel de consumo y áreas de ahorro significativo

- Auditorías dirigidas para profundizar en detalles Las oportunidades pueden

ser:

- "Solo hazlo"
- Se requieren más estudios para cuantificar ahorros y costos

- Se requiere de un alto costo de capital con un mayor riesgo comercial que necesita la aprobación de la alta gerencia

Muy Común en Asia / Pacífico, Asia del Sur, América y

La auditoría energética es uno de los métodos disponibles para identificar oportunidades de mejora. La organización puede elegir qué tipo de auditoría es el más adecuado. La auditoría se puede utilizar como entrada en la revisión de energía ISO 50001 Usar un método consistente como el descrito en ISO 50002 puede facilitar a evaluación comparativa de “manzanas a manzanas “en sitios similares. La ISO 50002 tiene puntos de contacto con la ISO 50001:

- Aplica el principio de rendimiento energético
- Incluye uso, consumo y eficiencia (Oung, 2018)

2.8.1 Requisitos para los organismos que ofrecen auditoría y certificación de sistemas de gestión de energía. En este tema se especifica los requisitos de competencia, coherencia e imparcialidad en la auditoría y certificación de los sistemas de gestión de energía (EnMS, energy management systems) para los organismos que prestan estos servicios. Para garantizar la efectividad de la auditoría de EnMS, ISO 50003 aborda el proceso de auditoría, los requisitos de competencia para el personal involucrado en el proceso de certificación de los sistemas de gestión de energía, la duración de las auditorías y el muestreo en múltiples sitios.

Los requisitos están diseñados para ayudar a los organismos que ofrecen auditoría y certificación al proporcionar los requisitos para garantizar la competencia, la coherencia y la imparcialidad en el proceso de auditoría y certificación.

Los requisitos fueron diseñados para usarse con ISO / IEC 17021: 2011, evaluación de la conformidad; requisitos para los organismos que proporcionan auditoría y certificación de sistemas de gestión, proporciona las áreas técnicas específicas necesarias para garantizar la eficacia de la auditoría

Esto incluye los requisitos adicionales necesarios para el proceso de planificación de la auditoría,

la auditoría de certificación inicial, la realización de la auditoría en el sitio y la garantía de que las personas que realizan la auditoría tengan las habilidades adecuadas para hacerlo. (International Organization for Standardization, 2020) ISO 50003 incluye un cambio de paradigma en el requisito de que la organización no solo tenga que probar la implementación de un EnMS que funcione, sino que también demuestre una mejora en su eficiencia energética ("rendimiento energético"). Una confirmación de esto debe documentarse en el

informe de auditoría inicial y para las certificaciones siguientes. El anexo de la ISO 50003 incluye muestras para la mejora continua de la eficiencia energética. El análisis y el monitoreo del indicador de rendimiento de energía (EnPIs) basados en la medición continua jugando un papel central en la demostración de la mejora requerida. Las competencias del auditor incluyen:

- Se basa en ISO / IEC 17021: 2011 – Conformidad evaluación - Requisitos para los organismos que realizan auditorías y certificación de sistemas de gestión
- Características de la auditoría del sistema de gestión energética
- Requisitos del proceso de auditoría
- Requisitos de competencia (Allen & Brennan, 2008)

El organismo de certificación debe definir y documentar la competencia de criterios para el (los) auditor (es) y otro personal involucrado en la auditoría de EnMS y actividades de certificación, se debe considerar lo siguiente:

- Educación (ciencia o ingeniería) o capacitación reciente en temas relacionados como como EnMS, instalaciones, sistemas, procesos, equipos, gases de efecto invernadero (GEI), medición y verificación (M&V), etc
- Conocimiento de los requisitos legales y de otro tipo relacionados con la energía
- Experiencia de auditoría reciente y relevante
- Credenciales profesionales relevantes
- Habilidades relevantes demostradas (Allen & Brennan, 2008) Las

competencias técnicas incluyen:

- El perfil del sistema energético del auditor también se evaluará como una parte de la competencia
- Un perfil del sistema energético proporciona criterios sobre los tipos de energía, sistemas o procesos dentro de un sector que el organismo de certificación esperaría que el auditor pueda ser idónea para auditar
 - Industria - ligera a media
 - Industria – pesada
 - Edificios comerciales

- Edificios - complejo
- Transporte
- Agricultura
- Minería

- Militares y gubernamentales
- Suministro de energía / generación
- Laboratorios, salas blancas y centros de datos.(Allen & Brennan, 2008).

2.9 Mantenimiento y mejora de un sistema de gestión de energía

Este contenido proporciona orientación práctica y ejemplos para establecer, implementar, mantener y mejorar un sistema de gestión de energía (EnMS) de acuerdo con el enfoque sistemático de ISO 50001. La orientación en ISO 50004 es aplicable a cualquier organización, independientemente de su tamaño, tipo, ubicación o nivel de madurez y no proporciona orientación sobre cómo desarrollar un sistema de gestión integrado. Adicionalmente, define los requisitos de un sistema de gestión de energía (EnMS) y le dice al usuario qué hacer, pero no cómo hacerlo. Es responsabilidad del usuario determinar cómo será el sistema establecido, implementado, mantenido y mejorados. Esta norma proporciona orientación a los usuarios con diferentes niveles de gestión de energía y experiencia en EnMS:

- Usuarios con poca o ninguna experiencia en gestión de energía o estándares de sistemas de gestión
- Usuarios activos en la gestión de energía con un enfoque de proyecto, pero con poca o ninguna experiencia en EnMS
- Usuarios que tienen un EnMS, no necesariamente basado en ISO 50001

La gestión de la energía es una parte integral de la actividad y el proceso de gestión general de una organización. El establecimiento, implementación, mantenimiento y mejora de un EnMS es un proceso continuo e interactivo.

Varias organizaciones que han implementado EnMS encontraron que ISO 50001 puede integrarse fácilmente con otros estándares del sistema de gestión como ISO 9001, ISO 14001, ISO 22000 y OHSAS 18001. Esto es concerniente a la facilidad de integración y que da como resultado directo de que ISO 50001 se diseñó para seguir el mismo plan estructurado del enfoque Planear-Hacer-verificar-

Actuar (PHVA) que es común a todos los estándares del sistema de gestión ISO.

Ejemplos y enfoques se presentan a lo largo de esta norma. Ellos no pretenden representar las únicas posibilidades, ni son necesariamente adecuadas para todas las organizaciones. Al establecer, implementar y mejorar un EnMS, es importante que las organizaciones seleccionen enfoques que son apropiados a sus propias circunstancias.

El compromiso y la participación de la alta dirección es esencial para obtener el compromiso requerido para implementar y mantener un EnMS más efectivo. (International Organization for Standardization, 2013)

La ISO 50004 expande la aplicación y da ejemplos de tipos de EnBs y EnPIs:

- Consumo de energía (kWh, GJ)
- Relación simple como el consumo de energía por unidad de salida (kWh por tonelada, kWh por hora hombre trabajó)
- Modelo estadístico (regresión lineal y no lineal)
- Modelo basado en ingeniería (simulación) (Byrne et al., 2014)

2.10 Rendimiento energético, línea base (EnB), e indicadores de rendimiento energético (EnPIs).

La medición de variables energéticas proporciona orientación a las organizaciones sobre cómo establecer, usar y mantener indicadores de rendimiento energético (EnPI) y líneas de base de energía (EnB) como parte del proceso de medición del rendimiento energético y es aplicable a cualquier organización, independientemente de su tamaño, tipo, ubicación o nivel de madurez en el campo de la gestión de la energía. (International Organization for Standardization, 2020).

2.11 Visión General ISO 50001

Norma ISO 50001 puede tener los siguientes aspectos como su propósito o visión:

- Recuerda a los usuarios la distinción entre consumo y uso de energía, y los diversos significados de eficiencia energética
- Muestra cómo la medición del rendimiento energético se ajusta a un ciclo PHVA
- Introduce el Indicadores rendimiento energético (EnPIs) y líneas de base de energía (EnB)
- EnPIs y EnBs en el contexto de cuantificación rendimiento energético
- Al igual que ISO 50004, un estándar de orientación (sin requisitos)
- Diseñado para ser práctico; ISO 50001 es normativo
- Centrarse en establecer, usar y mantener líneas de base e indicadores

Comenzar con una descripción general

Sugiere cómo usar la revisión energética para obtener información de un rendimiento energético relevante para luego identificar indicadores de rendimiento energético adecuados y establecer líneas de

base coincidente y considerar cómo usarlos, mantenerlos y ajustarlos a la medida que cambian las circunstancias (Byrne et al., 2014)

2.12 Medición y chequeo del rendimiento energético de organizaciones.

Establece principios y pautas generales para el proceso de medición y verificación (M&V) del rendimiento energético de una organización o sus componentes. Se puede usar de forma independiente, o junto con otros estándares o protocolos, y se puede aplicar a todo tipo de energía. (International Organization for Standardization, 2014). Esta norma proporciona experiencia en M&V en lo siguiente:

- Establece e implementa un concepto de punto de medición individual que permita la medición y verificación concluyentes del aumento de la eficiencia mediante la optimización de medidas por medio de cifras clave inteligentes y la creación de un alcance de medición
- Implementa los principios de medición y verificación
- Crea un plan para medir y verificar para asegurar la calidad e integridad de los datos
- Introduce un plan para medir y verificar
- Documenta la medición y verificación

El estándar introdujo los principios de medición y verificaciones y cómo planificar la actividad de M&V y lo que debe considerarse durante la planificación de M&V. El plan debería ayudar a la compañía a identificar qué se debe medir, cómo medir y cuáles son los equipos que podrían necesitarse para la medición. Si el plan de monitoreo y medición en ISO 50001 también cubría el control operativo, el plan en ISO 500015 se enfocaría más en el plan de acción y el rendimiento energético. ISO 50015 proporciona orientación sobre cómo implementar el plan de M&V, lo que debe tener en cuenta durante la realización de la actividad de M&V.

ISO 50015 es un método agnóstico, tiene como propósito aumentar la credibilidad de ahorro de M&V por lo tanto, más orientado a tipo de declaración (Langlois, 2018).

2.13 Pirámide normativa de la ISO 50000.

En la siguiente figura podemos representar la estructura piramidal de las normas ISO 50000 y la congruencia que existe entre las distintas normas.

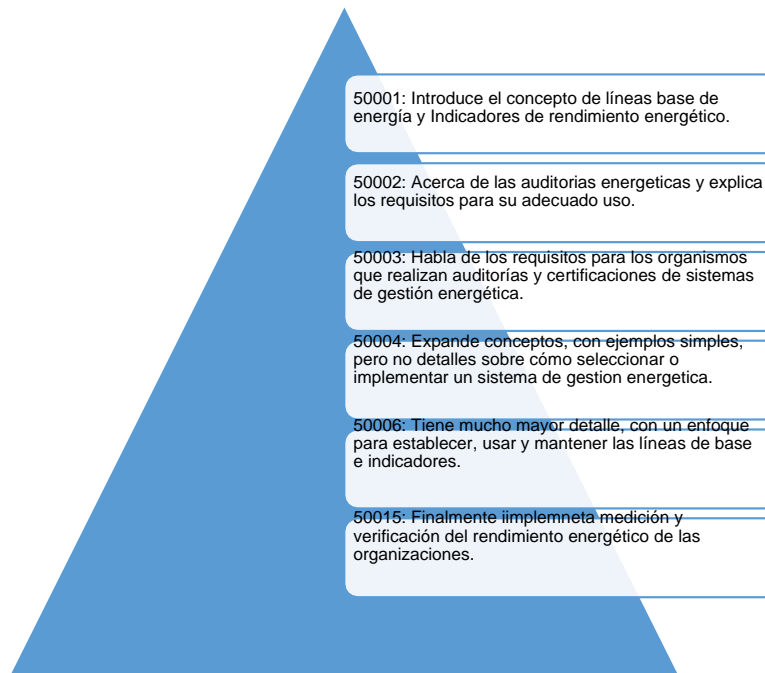


Figura 3. Normas sistemas de gestión energética. Fuente (Byrne et al., 2014)

En la figura anterior se muestra toda la familia ISO 50000 y como cada norma abarca un aspecto diferente desde lo normativo, guía, requisitos y auditoría para la correcta gestión energética de las compañías.

Y en la figura siguiente podemos ver como se ilustra el conjunto de contención de las normas ISO 50000 donde cada norma comparte elementos y requisitos comunes entre sí mismas.

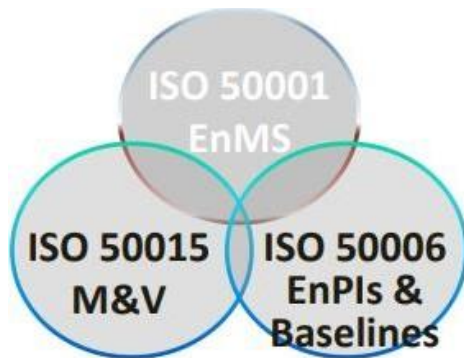


Figura 4. Relación normas ISO. Fuente: (Byrne et al., 2014)

Inicialmente ISO 50001 se basó en un estándar de sistema de gestión energética y como tal se centró en el proceso de un ciclo PHVA, pero de alguna manera careció de especificidad para la energía eléctrica, por lo cual se elaboraron los demás estándares de apoyo para lograr que se convirtiera en una norma muy robusta y completa

Dentro de la familia de normas ISO 50000, la ISO 50006 es el estándar para determinar la línea base y los indicadores de desempeño de procesos y servicios que son obligatorios para los sistemas de gestión energética:

- ISO 50015 - Medición y verificación del rendimiento energético de organizaciones
- ISO 14064-3 - Gases de efecto invernadero - Parte 3: Especificación con orientación para la validación y verificación de afirmaciones de gases de efecto invernadero
- ISO 17747 (en preparación) - Determinación del ahorro energético en las organizaciones.
- EN 16231 - Evaluación comparativa de eficiencia energética.

Capítulo 3: Auditoría energética de la Clínica Portoazul

En este capítulo se expone el concepto de zona franca en Colombia y sus beneficios. Además, se explora la definición y composición del Complejo Portoazul donde está ubicado el objeto de estudio discutido en este trabajo. También se discute el diseño del sistema eléctrico instalado en la Clínica Portoazul, incluyendo la información detallada de la distribución del consumo de electricidad, y las correlaciones, indicadores y metas de desempeño energético obtenidos.

3.1 Primera Zona Franca de Salud de la Costa

La Zona Franca en Colombia es un incentivo a las exportaciones que permite desarrollar actividades industriales, comerciales y de servicios, bajo una normatividad especial, en materia cambiaria, tributaria, aduanera y de comercio exterior.

Los beneficios de las zonas francas en Colombia se dividen en 2 tipos:

- **Aduaneros:**
 - Extraterritorialidad aduanera
 - No pago de tributos aduaneros para los bienes de capital, equipos, insumos y repuestos provenientes del exterior
 - Almacenamiento ilimitado de mercancías extranjeras sin el pago de tributos
 - Pago de impuestos parcial sobre la mercancía recibida, para ser utilizada justo a tiempo en Colombia
 - Procesamiento parcial de mercancías en el TAN (Territorio Aduanero Nacional), sin necesidad del pago de tributos y trámites aduaneros
- **Tributarios:**
 - Tarifa única de impuesto de renta del 15% para usuarios industriales
 - Las ventas del territorio aduanero nacional a usuarios industriales de bienes y de servicios está exenta de IVA. (E.T. Art. 481 de la ley 1004/2005)
 - Al pagar los impuestos de renta de la empresa, los dividendos de los

socios, están exentos de renta

Clínica Portoazul hace parte de zonas francas industriales de bienes y servicios y comerciales para promover y desarrollar el proceso de industrialización, la prestación de servicios destinados primordialmente a los mercados externos y la comercialización (Procolombia, 2020).

El complejo Portoazul, ubicado en el Municipio de Puerto Colombia (Atlántico), es un conjunto nuevo dedicado a la prestación de los servicios de alto nivel en el sector salud que presta servicios a la Ciudad de Barranquilla, y la región Caribe en general.



Figura 5. Complejo Portoazul. Fuente: Clínica Portoazul, mercadeo.

El complejo está compuesto por un edificio dedicado a la Clínica, un edificio de apoyo con los servicios de imágenes diagnósticas y un edificio de consultorios y la plataforma de apoyo con parqueos y áreas técnicas que los integran.

Este gran complejo médico ofrece a pacientes y familiares un concepto de atención médica integral, segura y humanizada basada en el trabajo conjunto e innovación de la práctica médica, apoyada con equipos de última tecnología que permiten que algunos de los procedimientos realizados sean menos invasivos y se logre una rápida recuperación del paciente.

Para la atención integral, el complejo cuenta con tres torres que se interrelacionan operativa y funcionalmente, la gran mayoría de los médicos especialistas adscritos realizan sus consultas desde la torre de consultorios lo cual permite una excelente capacidad de respuesta ante la necesidad de un concepto médico a pacientes que ingresen por urgencias, que se encuentren en cirugía,

hospitalización y unidades de cuidados intensivos, la facilidad de contar con una torre de diagnóstico permite un acertado ejercicio de la actividad médica y la tranquilidad para el paciente que cuenta con todos los exámenes de diagnóstico y laboratorio clínico en un solo lugar; así mismo con resultados en el menor tiempo posible.

3.2 Torre Clínica Portoazul

Clínica Portoazul es la primera zona franca de salud de la costa caribe, ubicada estratégicamente a las afueras de la ciudad de Barranquilla y cuenta con un área de 19.380 m² en un edificio de 9 pisos y una cubierta en donde se ubican las áreas técnicas de apoyo, la Clínica tiene además de los servicios de hospitalización, los siguientes servicios clínicos:

- Unidad de cuidados intensivos adultos (18 camas)
- Unidad de cuidados intensivos pediátricas (7 camas)
- Unidad de cuidados intensivos neonatales (12 camas)
- Quirófanos de alta cirugía dotados con la mejor tecnología del momento (7 salas)
- Quirófanos para maternidad (2 salas)
- Zona de urgencias con 8 consultorios y 12 boxes de atención
- Zona de recuperación con 28 camas
- Dos zonas de reanimación divididos por especialidades entre adultos y pediátricos
- Imágenes diagnosticas dentro de la clínica, con dos rayos x, tomógrafo, ecografía y apoyo externo en la torre de imágenes diagnósticas, con los equipos más avanzados en esta área
- Habitaciones de hospitalización: amplias y cómodas de 25 m² promedio, con balcón y baño privado, dotadas con la más alta ayuda tecnológica y mobiliario, se destaca por su diseño complementando lo médico y lo decorativo
- Áreas de diagnóstico cardiológico con consultorios VIP
- Unidad de oncología
- Servicios de rehabilitación



Figura 6. Clínica Portoazul. Fuente: Clínica Portoazul, mercadeo.

Los servicios de apoyo al funcionamiento clínico con que cuenta la clínica son:

- Laboratorio clínico y su respectiva sede de toma de muestras, ubicadas ambas en la torre médica
- Esterilización
- Central de mezclas
- Cocina para servicio de restaurante al público y empleados
- Áreas de apoyo al público como restaurante en el tercer piso de la clínica
- Cafés en las zonas de espera de hospitalización
- Zonas de espera
- Auditorio para 60 personas
- Seis ascensores de última generación (3 para servicio de camillas y 3 ascensores para uso público con capacidad para 12 personas cada uno, de los cuales 3 (camilleros) conectan el edificio desde el sótano hasta el octavo piso de la Clínica, y los 3 públicos conectas desde el nivel 2 hasta el
- octavo nivel, además se planeó y se dejó previstas para redes técnicas para la

futura ampliación de habitaciones en el segundo piso (18 camas) y en el octavo piso (12 camas)

3.3 Sistema Eléctrico de la Clínica Portoazul.

Sobre el mástil ubicado en la carrera 46 vial mar, el sistema eléctrico comienza desde el punto de conexión en el reconectador de propiedad de Clínica Portoazul y desde ahí inicia el recorrido de la acometida eléctrica de red subterránea hasta al nodo de media tensión ubicado en el sótano del edificio y el cual alimenta a las tres subestaciones del Complejo Portoazul (Clínica, Unidad Médica, Unidad de Imágenes diagnósticas).

El circuito que alimenta a la Clínica Portoazul es Sol y mar a 13.200 VAC proviene de la subestación Barranquilla 8, propiedad del operador de red Air-e, en el punto de conexión se instaló un reconectador trifásico el cual fue programado con los parámetros de cortacircuitos de la Clínica, la capacidad instalada del Complejo Portoazul es de 6 MVA. La acometida eléctrica inicia con una red trifásica de cable monopolar 350 MCM 15 KV, 133%, en tres tubos de 4", que llega al cuarto del nodo de media tensión (Centro de distribución primaria).

La capacidad de transformación de Clínica Portoazul es de 4,03 MVA y está ubicada en el sótano y está conformada por una Celda de medida general y 5 Celdas de protección para igual transformadores de potencia. La distribución de energía de estos transformadores a cada celda de protección por baja tensión es por medio del sistema de blindobarras, cada blindobarra llega a 11 transferencias automáticas y estas a su vez llegan al nodo de plantas de emergencia de 480VAC y 2 transferencias de este nodo pasan por 2 transformadores elevadores de 1.250 KVA 208/480VAC.

La distribución de la energía de la Clínica Portoazul se realiza a través del sistema de blindobarras que se tienden de manera vertical desde la subestación eléctrica hasta los cuartos eléctricos y desde aquí se hace una distribución horizontal a cada piso de la clínica desde el nivel 1 hasta el nivel 8.

El nodo de emergencia de 480VAC distribuye al cuarto de las plantas eléctricas por medio del sistema de blindobarras, el sistema de plantas eléctricas esta conformadas por 4 equipos de 1000 KVA a ser utilizados en forma paralela por demanda de carga.

- Estructura Nodo de Media Tensión
 - Celda 1: Medida general (medidor de frontera)

- Celda 2: Protección DM1-A, con Sepam, protección principal Inteligente
- Celda 3: Protección acometida Clínica MT Celda DM1-A
- Celda 4: Protección acometida Unidad Medica
- Celda 5: Protección acometida Edificio Imágenes
- Estructura Subestación Eléctrica
 - Celdas primarias de distribución

- Celda 1: Medida Clínica Portoazul
- Celda 2: Protección transformador 630KVA 13.200/208 VAC para sistema vital y crítico
- Celda 3: Protección transformador 500KVA 13.200/208VAC sistema cómputo y uso general Sótano
- Celda 4: Protección transformador 1000KVA 13.,200/208VAC sistema equipos uso general 208/120VAC
- Celda 5: Protección transformador 400KVA 13.200/480VAC equipos de Imágenes
- Celda 6: Protección transformador 1500KVA 13.200/480VAC equipos y uso general sótano.
- Celdas de distribución general (transferencias)
 - Celda CDG-V-1: Transferencia sistema vital 630AMP/208VAC principal
 - Celda CDG-V-4: Transferencia sistema vital 630AMP/208VAC redundante
 - Celda CDG-C-1: Transferencia sistema critico 1.600AMP/208VAC principal
 - Celda CDG-C-4: Transferencia sistema crítico 1.600AMP/208VAC redundante
 - Celda CDG-EC-1: Transferencia equipos cómputo 400AMP/208VAC
 - Celda CDG-ES-1: Transferencia equipos uso general sótano 1.200AMP/208VAC
 - Celda CDG-EB-1: Transferencia equipos uso general 3.200AMP/480VAC
 - Celda CGD-EI-1: Transferencia de equipos de imágenes de 400AMP/480VAC
 - Celda CGD-E4-1: Transferencia bomba contraincendios 200AMP/480VAC
 - Celda CGD-E4-2: Transferencia cargas sótano 200AMP/480VAC
 - Celda CGD-E4-5: Transferencia cargas equipos uso general 3.200AMP/480VAC

- Distribución Blindobarras
 - Blindobarra 480VAC/800AMP: Equipos áreas comunes, sistema HVAC y elevadores, motores
 - Blindobarra 208VAC/400AMP: Equipos cómputo

 - Blindobarra 280VAC/1.200AMP (crítica): Equipos compresores, UCIs, quirófanos y reanimación
 - Blindobarra 208VAC/630AMP (vital): Equipos vitales
 - Blindobarra 208VAC/3.200AMP: Equipos áreas común, esterilización, turbina, HVAC, Booster y carga de sótano

3.4 Diagnóstico Energético

Se desarrolló un diagnóstico energético y recorridos al interior de la Clínica en busca de oportunidades de mejoras. La investigación está dada por los datos recopilados durante 9 meses, desde el 1 de mayo de 2018 hasta el 31 de enero de 2019.

Los datos de consumo energía eléctrica fueron recopilados desde la base de datos del medidor teledorado, para el cálculo del gas natural se tomaron los consumos mensuales de las facturas y se realizó la conversión, de igual forma se tomaron los niveles de almacenamiento de los tanques de ACPM para calcular el consumo de energía eléctrica, en ambos casos se usó el poder calorífico de cada uno de los combustibles para realizar la conversión a consumo de electricidad.

Tabla 4.

Matriz energética Clínica Portoazul.

		Matriz Energética		
Período		Energía Eléctrica	Gas Natural	Combustible Diésel
Año	Mes	kWh	kWh	kWh
2018	Mayo	373.818	41.392	10.372
2018	Junio	371.993	44.976	10.372
2018	Julio	375.500	49.936	10.372
2018	Agosto	389.574	43.986	10.372
2018	Septiembre	378.796	72.320	10.372
2018	Octubre	384.522	74.329	10.372
2018	Noviembre	371.214	74.418	10.372
2018	Diciembre	364.297	32.769	10.372
2019	Enero	357.278	28.878	10.372
Total		3.366.988	463.003	93.346

Fuente: Autor.

Los energéticos primarios utilizados dentro de la organización son: energía eléctrica, combustible gaseoso (gas natural), y combustible líquido (diésel). El diésel se utiliza solo cuando el suministro de energía eléctrica presenta algún tipo de falla y las plantas de generación eléctrica entran en operación. Las plantas de generación eléctrica no entran en operación con frecuencia, pues el suministro eléctrico de la compañía comercializadora de energía eléctrica es de buena calidad.

El gas natural es implementado en gran medida para calentamiento de agua y para la generación de vapor en el proceso de termo desinfección y esterilización, mientras que la energía eléctrica es útil en todos los procesos de la compañía.

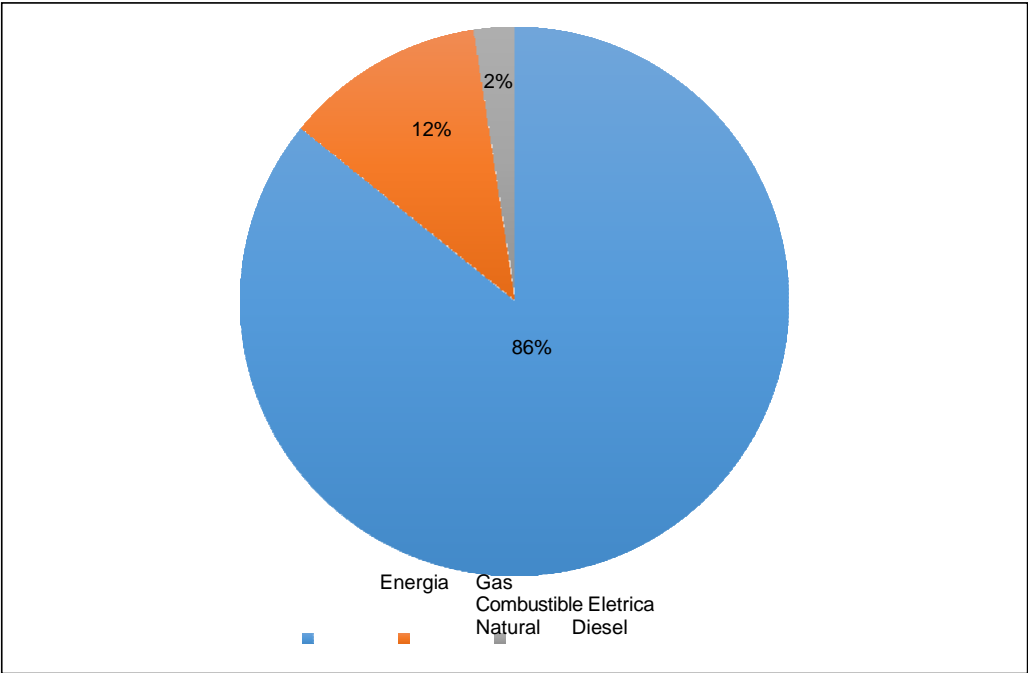


Figura 7. Distribución matriz energética. Fuente: Autor.

EL gráfico de la figura 7 muestra una matriz energética completamente desarrollada, donde la energía eléctrica representa el 86% del consumo, seguida del consumo de gas natural con un porcentaje del 12%, mientras que el combustible diésel solo dispone de un 2% del total de la distribución de la matriz energética de la compañía.

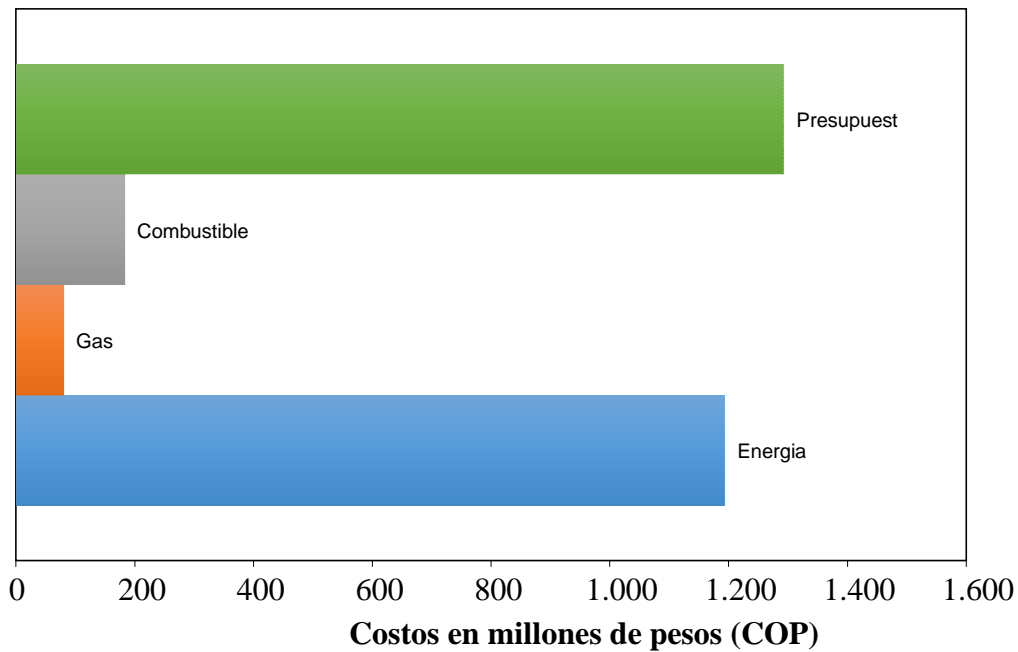


Figura 8. Costo económico de la matriz energética. Fuente: Autor.

En la anterior figura se evidencia la proporción de los costos de energía eléctrica, gas natural y combustible diésel sobre el presupuesto total de la compañía en la matriz energética. Con lo anterior se logra establecer que las medidas y las herramientas de gestión para los ahorros deben ir encaminadas y enfocados a la energía eléctrica para reducir los costos energéticos en la Clínica Portoazul.

Durante el periodo de estudio la compañía realizó un contrato de energía por 2 años 100% precio bolsa con piso y techo, lo cual fue muy favorable por las condiciones climáticas del país, pero actualmente el contrato de energía vigente es un mixto de 70% fijo y 30% bolsa lo que ha incrementado el costo de la energía en 25% aproximadamente, el incrementando se ha dado por un cambio del “modelo” de precios, que históricamente se basaba en los nivel de embalse y que hoy día se volvieron precios especulativos.

3.4.1 Potencia eléctrica

Se realiza en la Clínica Portoazul un análisis de la potencia de la energía eléctrica diaria para estudiar el comportamiento de la curva característica. Se puede observar en la figura 9 la curva de consumo diario, la cual es el promedio durante el periodo de este estudio que comprende desde el 01 de mayo de 2018 hasta el 31 de enero de 2019.

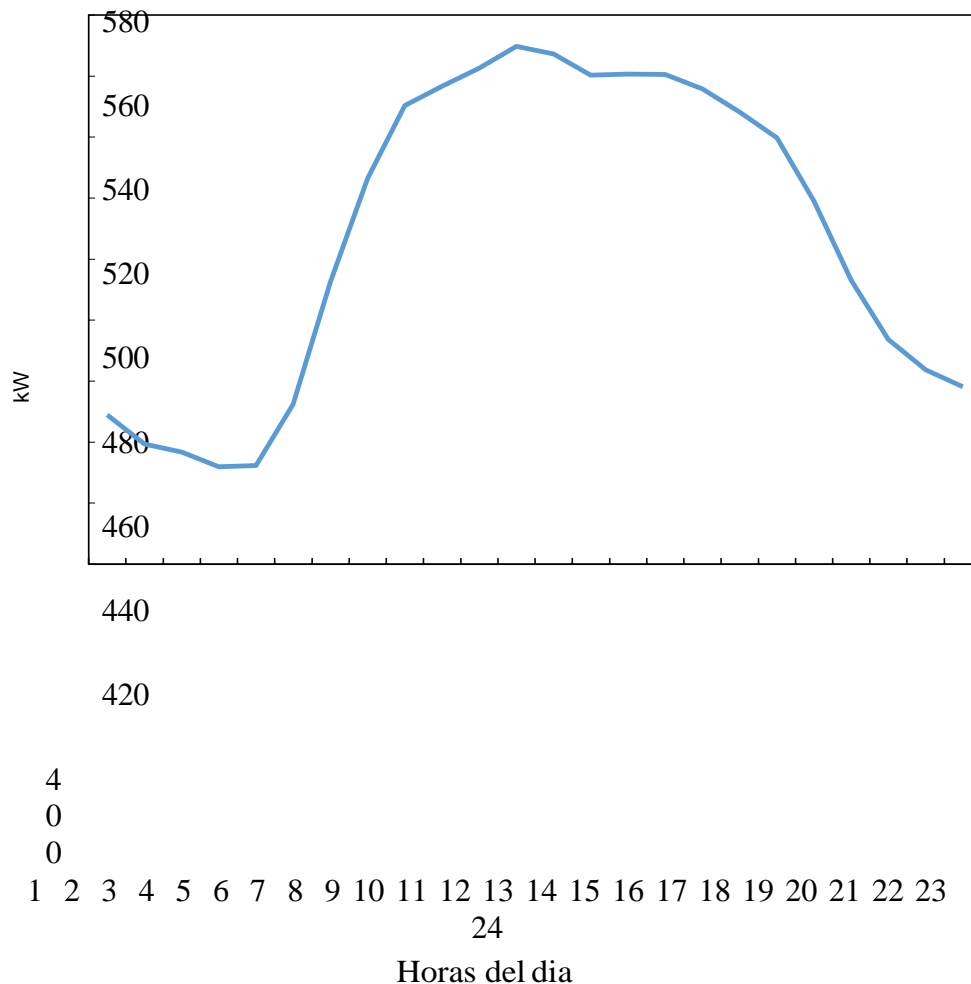


Figura 9. Curva característica energía eléctrica por hora diaria. Fuente: Autor.

La curva de la figura 9 muestra que durante el día se incrementa la demanda de potencia hasta 570 kWh en promedio. Mientras que durante la noche disminuye hasta un valor de 430 kWh, presentado el pico más alto en horas de medio día.

En la gráfica siguiente se hace un análisis de la curva característica para un promedio de 7 días.

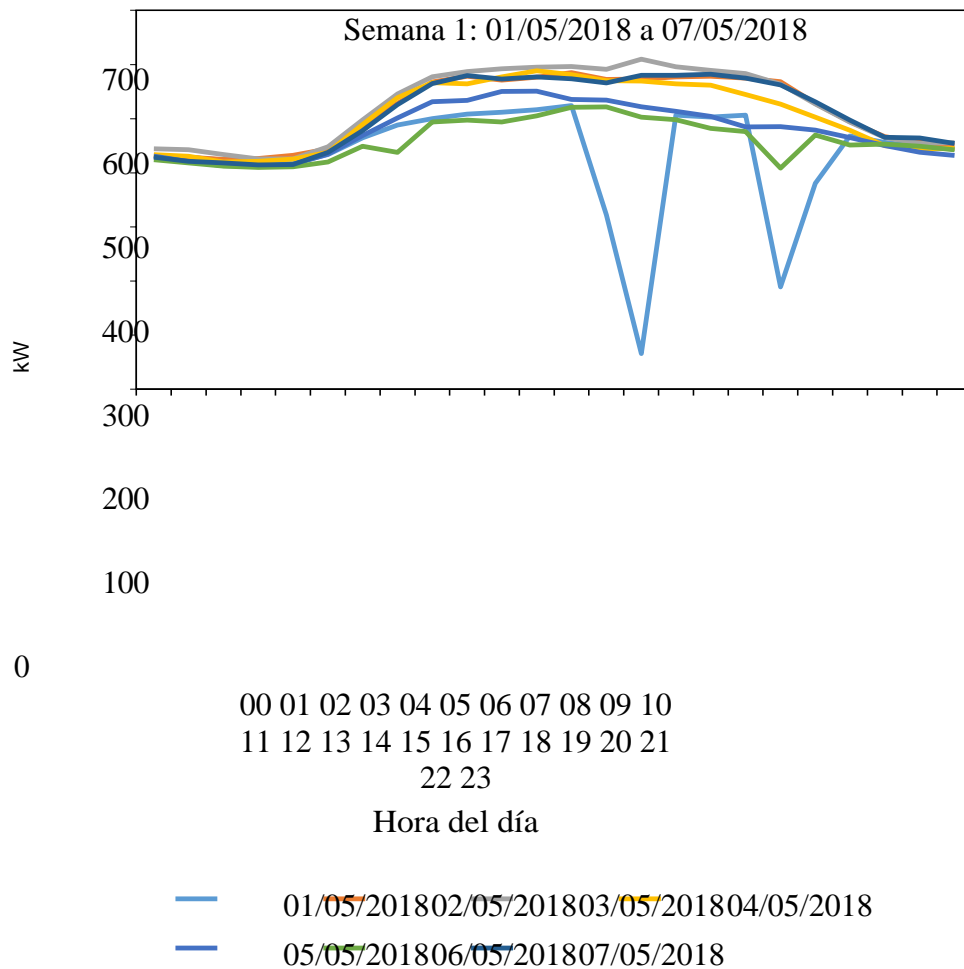


Figura 10. Curva característica energía eléctrica por hora semanal. Fuente: Autor.

Los picos de la curva característica que se observan en uno de los días obedecen en este caso a fallas externas en el suministro de energía eléctrico del operador de red. Para los 6 días restantes tenemos un comportamiento similar a la curva característica de la figura 9.

Posterior se realiza la observación de la curva por un periodo de 30 días tomando de referencia del mes de junio de 2018 y obteneos la siguiente figura.

Mes 2: 01/06/2018 al 30/06/2018

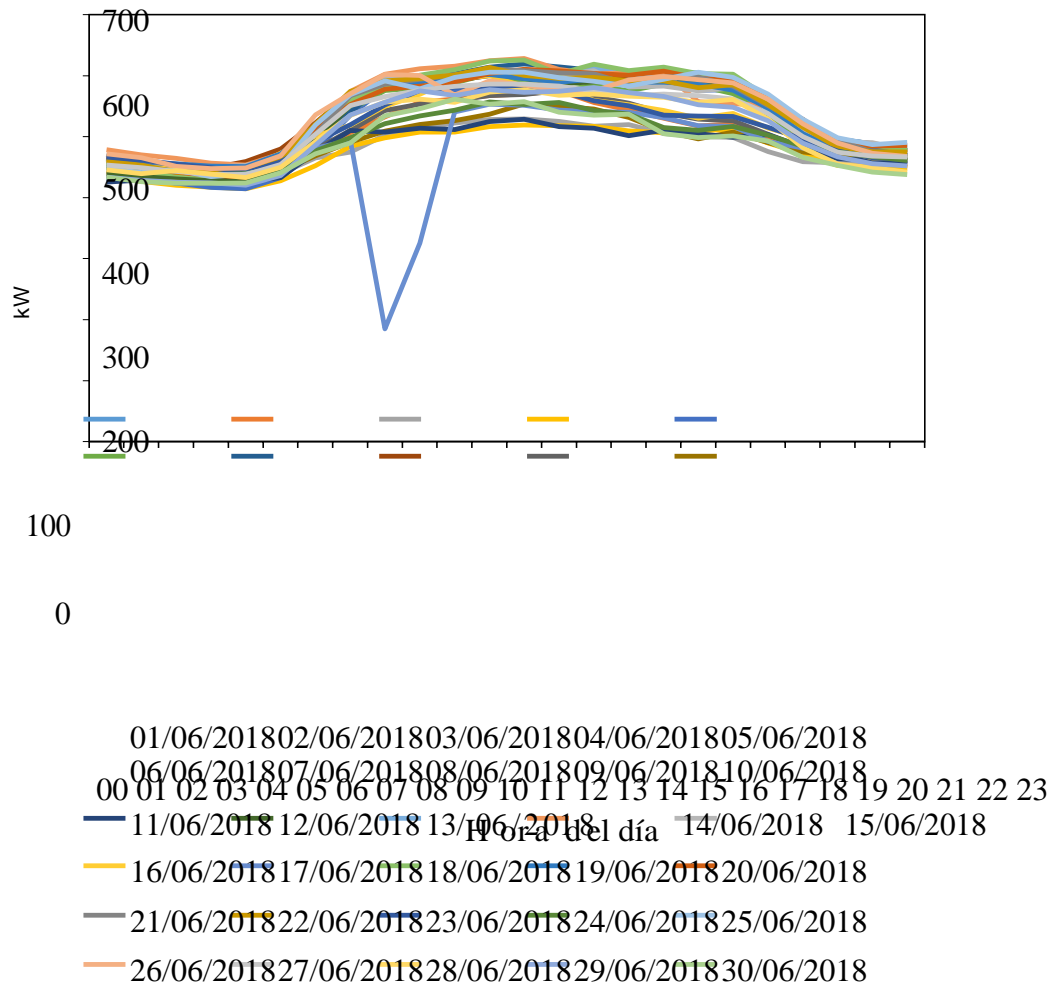
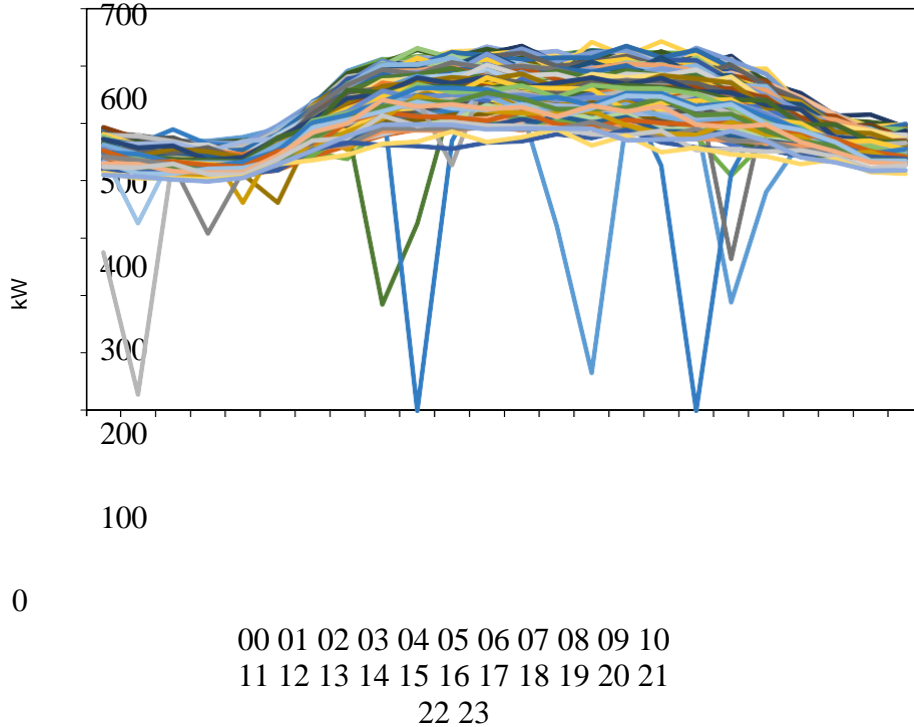


Figura 11. Curva característica energía eléctrica por hora mensual. Fuente: Autor.

La desviación que se observa en la figura 11 en uno de los días fue ocasionada por una falla en el chiller centrifugo 1, para los 29 días restante el comportamiento de la curva característica de la potencia eléctrica es similar a la curva característica promedio de las figuras 9 y 10 respectivamente.

Periodo: 01/05/2018 - 31/01/2019



Hora del día

01/05/2018 02/05/2018 03/05/2018 04/05/2018 05/05/2018
 06/05/2018 07/05/2018 08/05/2018 09/05/2018 10/05/2018
 11/05/2018 12/05/2018 13/05/2018 14/05/2018 15/05/2018
 16/05/2018 17/05/2018 18/05/2018 19/05/2018 20/05/2018
 21/05/2018 22/05/2018 23/05/2018 24/05/2018 25/05/2018
 26/05/2018 27/05/2018 28/05/2018 29/05/2018 30/05/2018
 31/05/2018 01/06/2018 02/06/2018 03/06/2018 04/06/2018
 05/06/2018 06/06/2018 07/06/2018 08/06/2018 09/06/2018
 10/06/2018 11/06/2018 12/06/2018 13/06/2018 14/06/2018
 15/06/2018 16/06/2018 17/06/2018 18/06/2018 19/06/2018
 20/06/2018 21/06/2018 22/06/2018 23/06/2018 24/06/2018
 25/06/2018 26/06/2018 27/06/2018 28/06/2018 29/06/2018
 30/06/2018 01/07/2018 02/07/2018 03/07/2018 04/07/2018
 05/07/2018 06/07/2018 07/07/2018 08/07/2018 09/07/2018
 10/07/2018 11/07/2018 12/07/2018 13/07/2018 14/07/2018

15/07/2018 16/07/2018 17/07/2018 18/07/2018 19/07/2018
20/07/2018 21/07/2018 22/07/2018 23/07/2018 24/07/2018

Figura 12. Curva característica energía eléctrica periodo estudio por hora. Fuente: Autor.

La curva presenta una forma similar a los demás datos horarios, semanales, y mensuales medidos. En general, se puede afirmar que la Clínica Portoazul tiene un comportamiento energético característico similar 100% desarrollado.

Por otro lado, en la figura 12 muestra que los picos de la curva corresponden a fallas presentadas por ausencia de tensión de red y/o fallas en los Chillers durante su rotación a algún sobrecalentamiento en las torres de condensación.

3.4.2 Consumo de electricidad

Se realiza en la Clínica Portoazul un análisis de consumo de energía eléctrica mensual para estudiar su comportamiento en el periodo comprendido entre el 01 de mayo de 2018 y el 31 de enero de 2019, el cual da como resultado la siguiente figura.

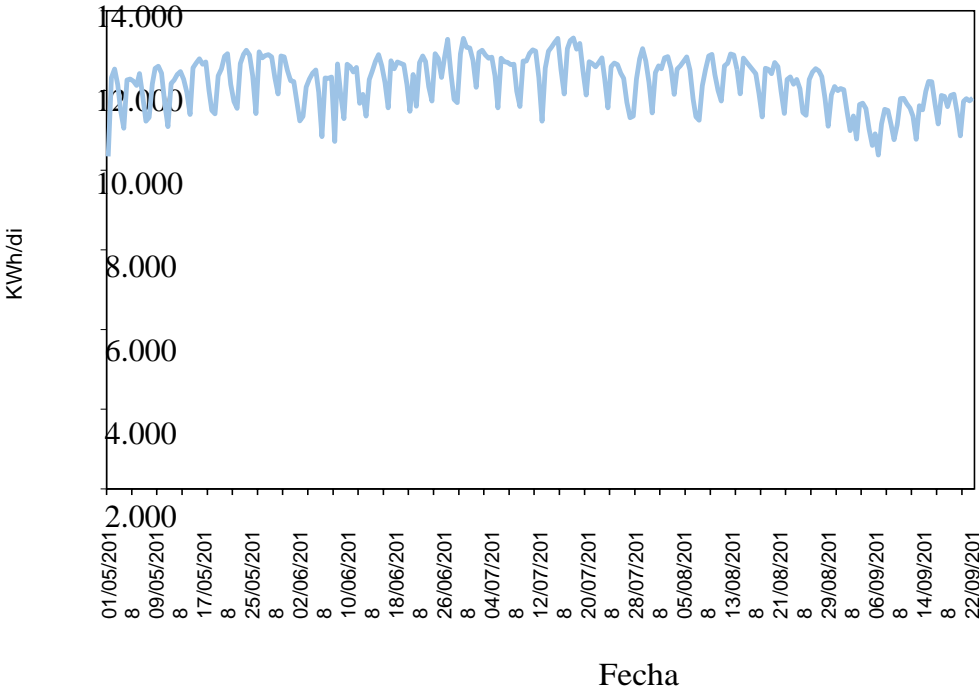


Figura 13. Consumo energía eléctrica por día Fuente: Autor.

El consumo diario de electricidad de la Clínica Portoazul según la figura 13 varía entre 10.300 y 13.300 kWh/día y muestra una curva no uniforme, pero con un patrón similar en el consumo de energía eléctrica de la compañía.

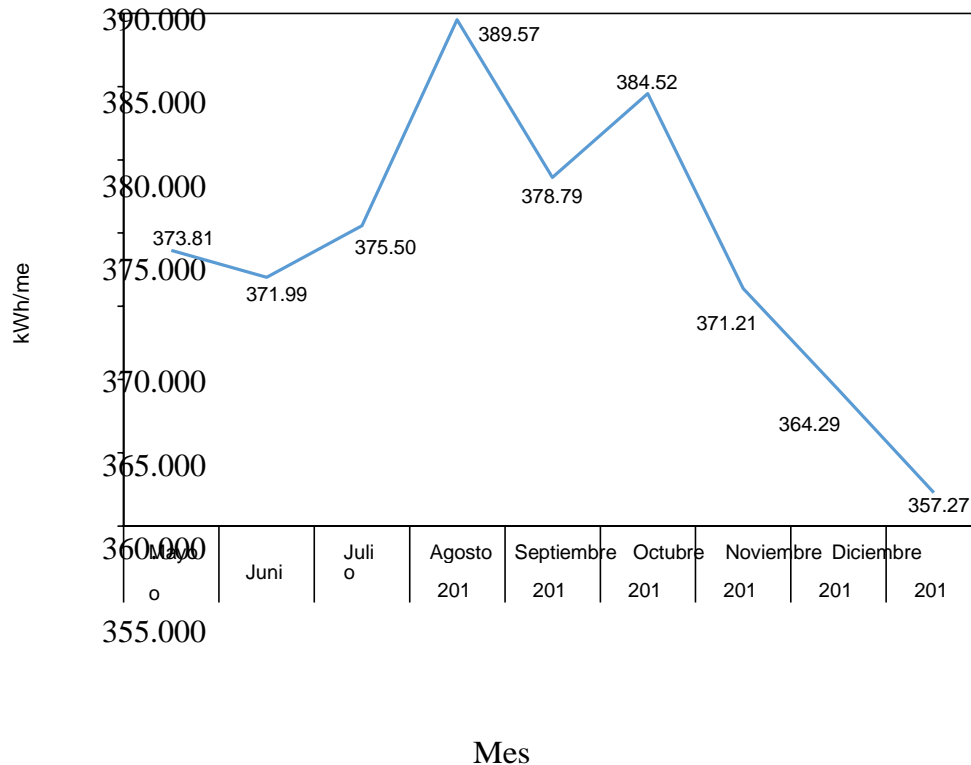


Figura 14. Consumo energía eléctrica periodo de investigación. Fuente: Autor. Los resultados de la figura 14 muestran que el consumo mensual de la clínica Portoazul varía entre 357 y 390 MWh/mes durante el periodo de estudio.

3.4.3 Distribución consumo energía eléctrica por subsistemas

El sistema eléctrico de la Clínica Portoazul incluye varios subsistemas en los cuales se desarrolló una campaña de mediciones entre el 01 de mayo de 2018 y el 31 de enero de 2019 (276 días).

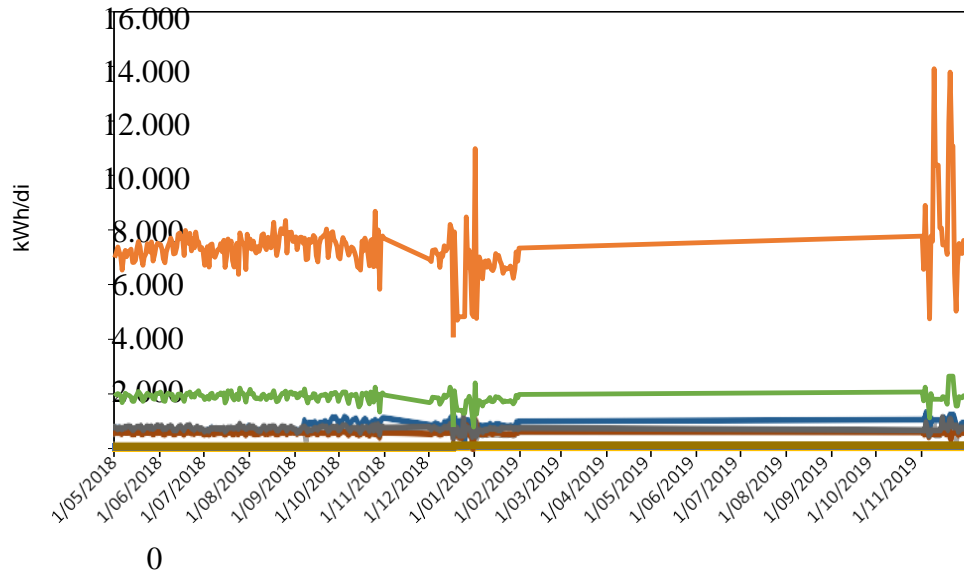
El procedimiento consistió en anotar en un formato de lectura de consumo de electricidad los datos visualizados a la misma hora diaria en los nueve (9) medidores eléctricos digitales ubicados en los diferentes tableros eléctricos de los subsistemas que conforman la subestación de Clínica Portoazul.

En este caso, se tomaron durante los primeros cinco (5) meses un (1) dato por día de los nueve medidores, para mejorar el análisis de datos se usó un analizador de red por diez (10 días) para tomar

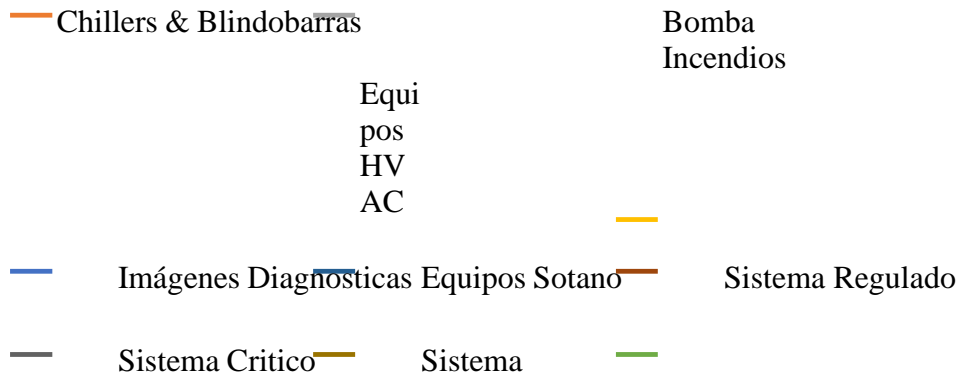
los datos diario por cada subsistema. Todo los datos e información recopilados se adjuntan como anexo en este documento.

A continuación, se describe los subsistemas y/o tableros eléctricos y a cuáles equipos alimentan eléctricamente, los estos equipos conforman la subestación eléctrica de Clínica Portoazul:

- Chilles & Blindobarras:
 - Chiller centrífugos. (2 unidades)
 - Chiller CGAM
 - Ascensores. (6 equipos + 1 montaplatos)
- Equipos HVAC
- Equipos Sótano:
 - Bomba de vacío
 - Compresores esterilización
 - Compresor gases medicinales
- Bomba sistema extinción de incendios
- Imágenes diagnosticas:
 - Rayos X1
 - Rayos X2
 - Tomógrafo
- Sistema normal:
 - Tomacorriente estándar (blanco)
 - Iluminación general
- Sistema regulado:
 - Equipos de cómputo
 - Equipos UPS
 - Tomacorriente regulado (naranja)
- Sistema Crítico
- Sistema Vital:
 - Iluminación de emergencias.
 - Tomacorriente crítico (Rojo)
 - Sistemas UPS



Mediciones: De 01/05/2018 hasta 31/01/2019



V
i
t
a
l

S
i
s
t
e
m
a
N

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN

Figura 15. Distribución del consumo eléctrico por subsistemas. Fuente: Autor. De los nueve (9) subsistemas que conforma en sistema eléctrico de la Clínica Portoazul se evidencia gracias a los datos recolectados que las mayores cargas y por ende los mayores consumos se encuentran en los tableros de Chillers & Blindobarras y Sistema Normal, la combinación de los dos (2) subsistemas representa el 65% de la carga de energía eléctrica de la compañía.

Para aumentar la fiabilidad de los datos se decide aumentar a tres (3) mediciones diarias del consumo eléctrico que muestran los nueve (9) tableros que conforma el sistema eléctrico de la compañía por un tiempo de tres (3) meses, octubre, noviembre y diciembre de 2018, el procedimiento consistió en anotar en un formato de lectura de consumo de electricidad los datos visualizados a la misma hora diaria en los nueve (9) medidores eléctricos digitales ubicados en la subestación de Clínica Portoazul. Los datos recopilados de forma manual de las tres (3) lecturas diarias por tres (3) meses se adjuntan como anexo al documento y arroja la siguiente figura.

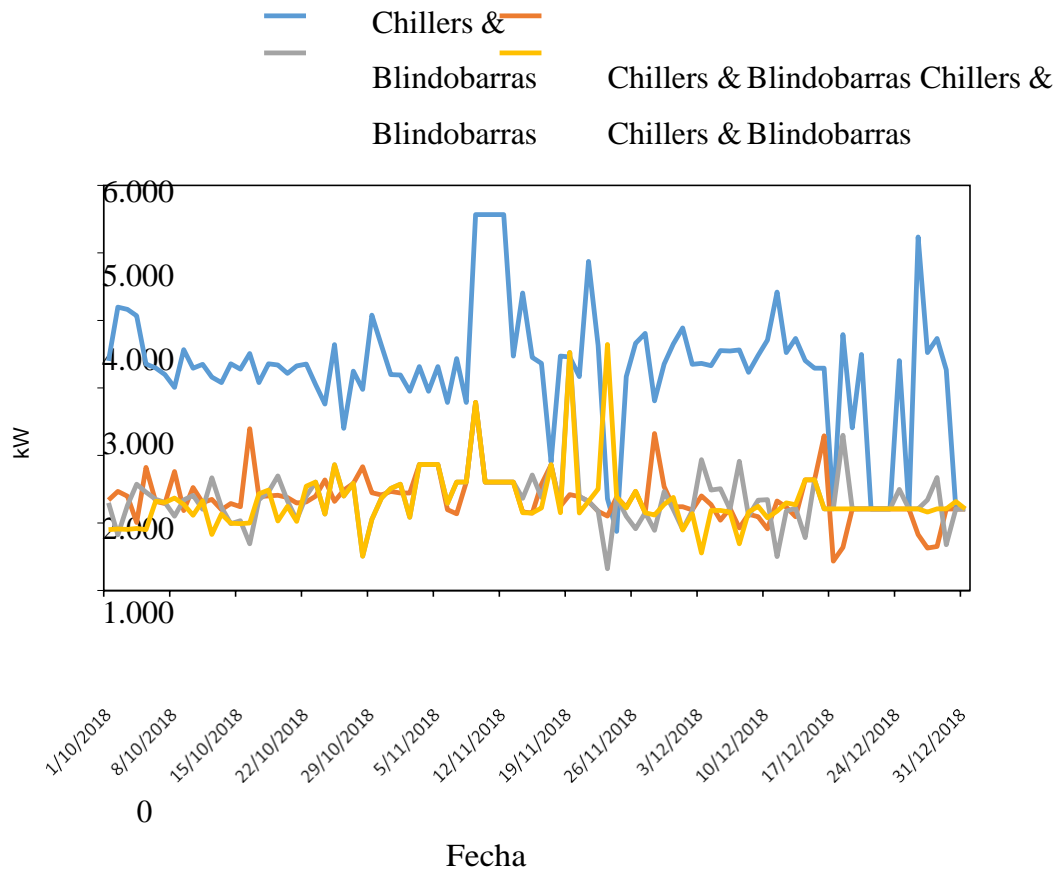


Figura 16. Comportamiento por franja horaria subsistema Chillers & Blindobarras.
Fuente: Autor.

Los datos recopilados muestran que la franja horaria con mayor consumo del subsistema Chillers & Blindobarras es el iniciando en la jornada de 7:30 am, pero esto se debe a que el rango de lectura es mayor que las otras jornadas debido a que la jornada de 07:30 am tiene un rango de medición de 12 horas porque esta lectura inicia a las 07:30 pm, mientras que las otras jornadas tienen un rango de medición de consumo de 4 horas cada una , también se evidencia un consumo de energía eléctrica similar en la franja de 11:30 am y 4:30 pm.

Una vez identificado los tableros de mayor consumo se procedió con un analizador de red a medir los equipos con mayor carga perteneciente al tablero de Chillers & Blindobarras, los datos fueron recopilados por 8 días, hace parte del anexo de este documento y las mediciones dieron como resultado figura siguiente.

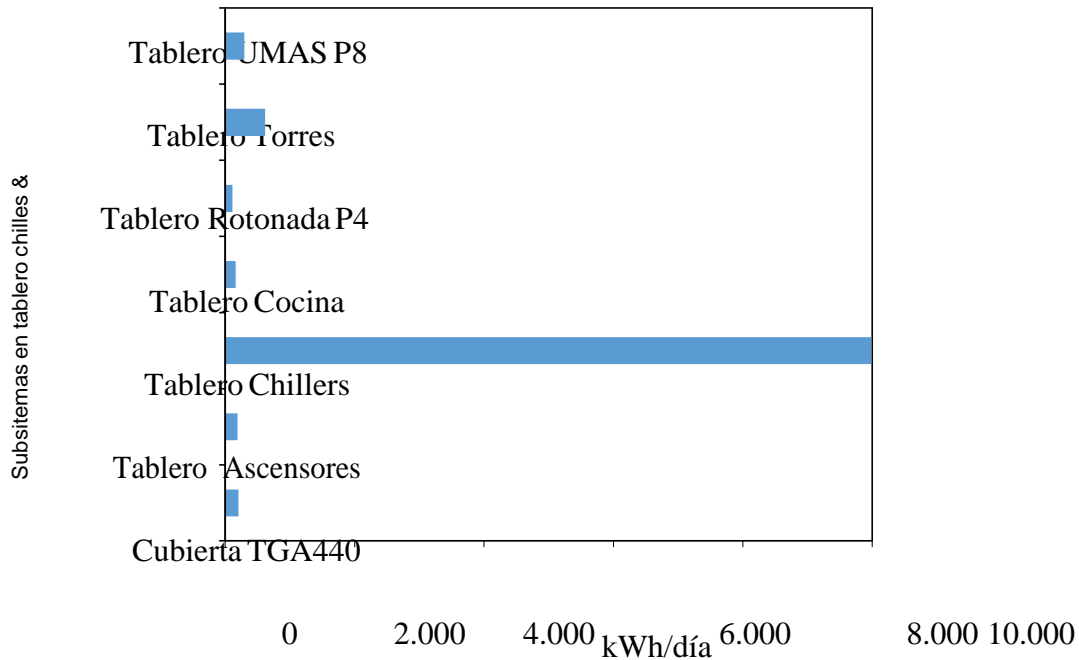


Figura 17. Consumo energético por subsistemas en tablero chillers & blindobarras. Fuente: Autor.

Una vez realizada la evaluación con el analizador de red de los tableros de los subsistemas de la compañía, se identifica que los Chillers son los mayores consumidores del subsistema, representando el 86% del consumo del subsistema.

3.5 Línea base e indicador de desempeño energético

La Clínica Portoazul usa como indicador la ocupación, la cual comprende la suma algebraica del número de pacientes atendidos en urgencias, cantidad de cirugías y el número de estancia en las diferentes unidades de servicio de hospitalización y unidades de cuidado intensivos. La figura 18 muestra que no hay una directa relación entre la ocupación y el consumo de electricidad.

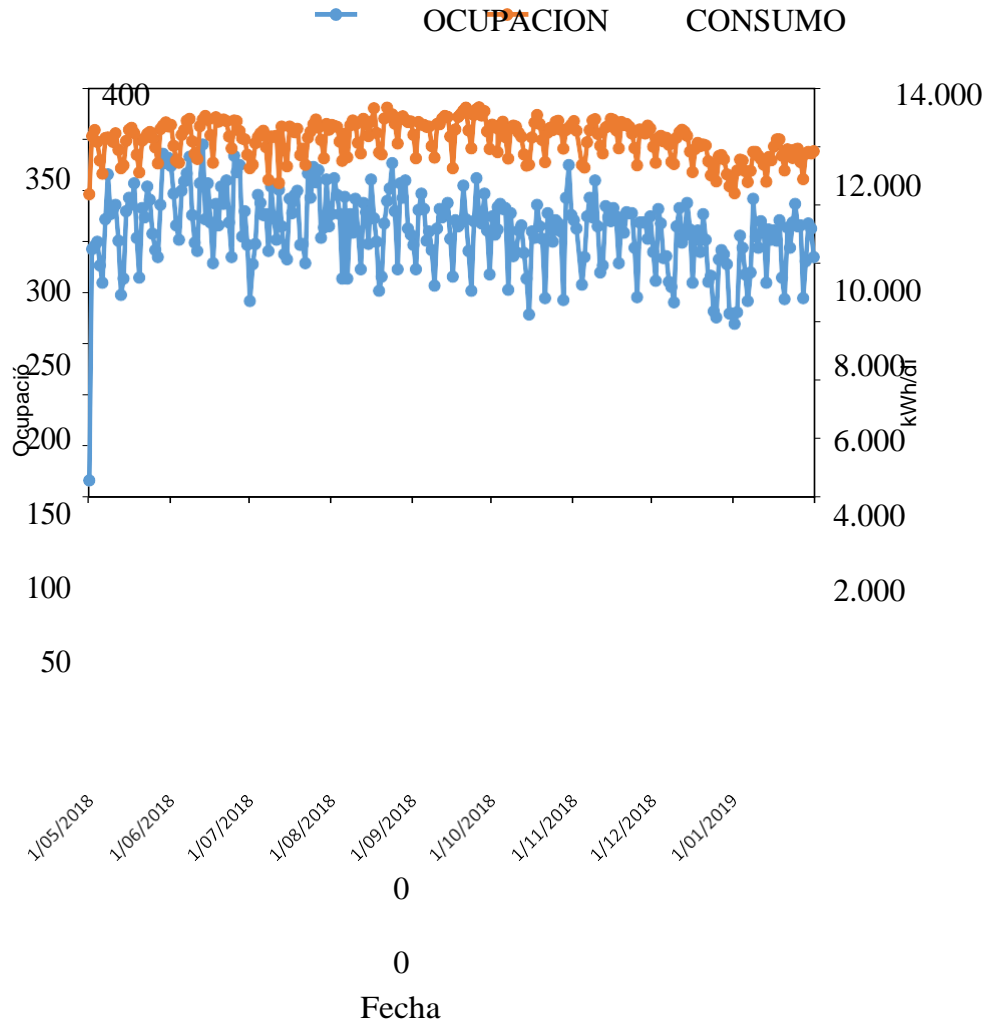


Figura 18. Relación ocupación contra consumo eléctrico. Fuente: Autor.

Se analiza el comportamiento para el consumo de energía eléctrica (serie de puntos naranja) y la ocupación equivalente (serie puntos azules) en el tiempo, para el periodo estudiado. Se puede identificar que no hay una relación directa entre la ocupación equivalente y la energía consumida, se observan puntos que indican comportamientos anormales donde el consumo de energía baja y la ocupación se incrementa y viceversa, donde el consumo aumenta y la ocupación baja.

Por otra parte, el objeto es indicar el comportamiento de la relación directamente proporcional de la energía consumida con la ocupación en un periodo de tiempo determinado.

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN

La siguiente figura muestra la variación del consumo de energía eléctrica de la Clínica Portoazul y el indicador de ocupación, el cual fue establecido por la compañía para referenciar la actividad del

negocio.

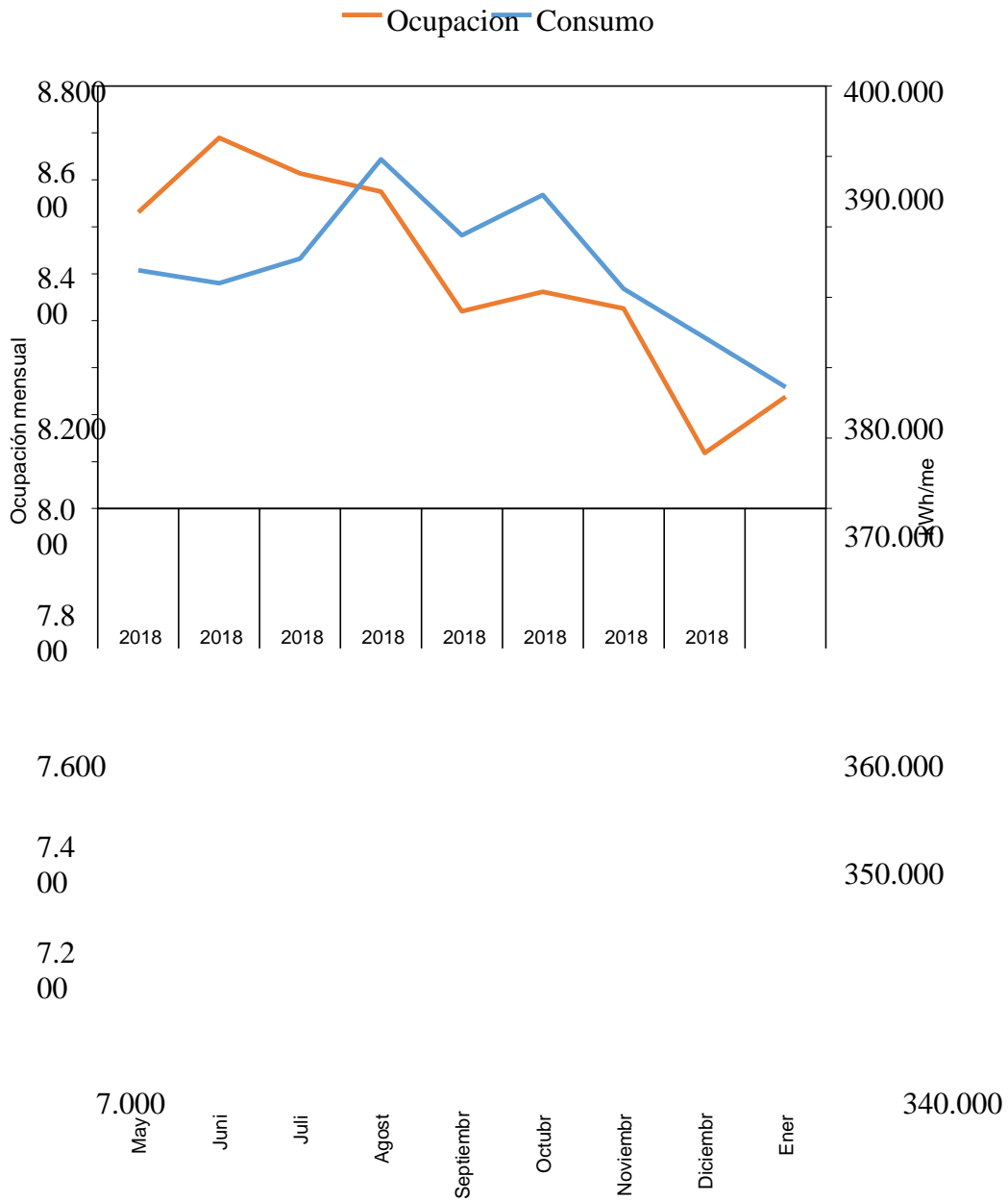


Figura 19. Relación entre el consumo energético y la ocupación. Fuente: Autor.

En general se puede observar que no hay una relación directa entre ocupación y consumo eléctrico. Para determinar la línea base se correlacionan la ocupación y el consumo de electricidad, entonces se debe definir si la correlación es adecuada para ser utilizada como línea base, para ello la correlación debe ser de mínimo un $R^2 \geq 65\%$.

El indicador de ocupación de la Clínica Portoazul está dado por lo siguiente:

(1)

Donde:

- Total Urgencias EPS
- Urgencias adulto EPS
- Urgencias pediátricas EPS
- Urgencias Ginecológicas EPS
- Urgencias Observación EPS

(2)

Donde:

- Total Urgencias privadas
- Urgencias adulto privadas
- Urgencias pediátricas privadas
- Urgencias Ginecológicas privadas
- Urgencias Observación privadas

(3)

Donde:

- Total urgencias
 - Total urgencias EPS
 - Total urgencias privadas

(4)

Donde:

- Total cirugías
 - Cirugías de urgencias
 - Cirugías programadas

(5) Donde:

- Total hospitalización EPS
 - Hospitalización piso EPS
 - Hospitalización unidad de cuidados intensivos adultos EPS
 - Hospitalización unidad de cuidados intensivos pediátricos EPS
 - Hospitalización unidad de cuidados intensivos neonatal EPS
- Hospitalizados piso bloqueado por patología EPS

(6) Donde:

- Total hospitalización privado
- Hospitalización piso privado
- Hospitalización unidad de cuidados intensivos adultos privado

- Hospitalización unidad de cuidados intensivos pediátricos privado
- Hospitalización unidad de cuidados intensivos neonatal privado

(7)

Donde:

- Total hospitalización
 - Total hospitalización EPS
 - Total hospitalización privado

(8)

Donde:

- Indicador de ocupación de la Clínica Portoazul
- Total urgencias
- Total cirugías
- Total hospitalización

Se procede con el primer análisis correlacionando el indicador de ocupación que usa la compañía contra el consumo de energía eléctrica diaria y se obtiene la siguiente figura.

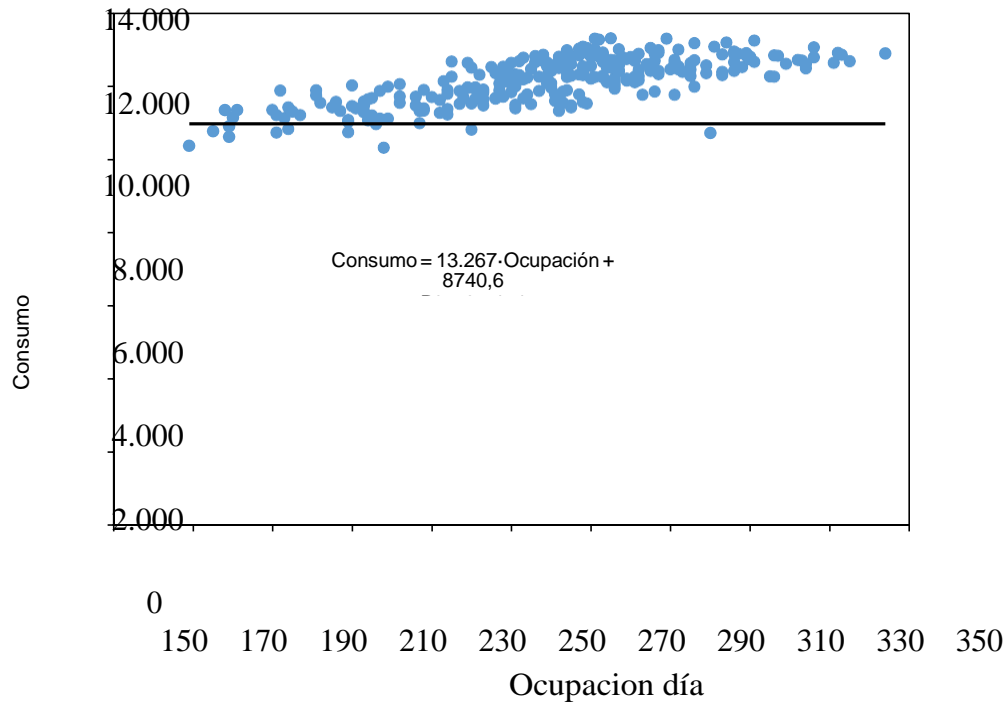


Figura 20. Correlación ocupación Vs consumo energía eléctrica. Fuente: Autor.
Como era de esperar en este caso la figura 20 muestra un $R^2 < 65\%$ y por lo tanto no cumple con las expectativas, por lo tal se procederá a realizar un filtrado de Hampel y se conocerán los resultados en el siguiente capítulo de resultados.

Capítulo 4: Resultados

Tradicionalmente, la media de la muestra y la varianza de la muestra proporcionan una buena estimación de la ubicación y la forma de los datos si no están contaminados por valores atípicos. Cuando la base de datos está contaminada, esos parámetros pueden desviarse y significativamente afectar el rendimiento de detección de valores atípicos. (L'Hostis, 2017)

Hampel introdujo el concepto de ruptura punto, como una medida de la robustez de un estimador frente a valores atípicos. El punto de ruptura se define como el porcentaje más pequeño de valores atípicos que pueden hacer que un estimador tome valores arbitrarios grandes. En consecuencia, Hampel sugirió la mediana y la desviación absoluta mediana (MAD) como estimaciones robustas de la ubicación y la propagación. El filtrado Hampel se encuentra a menudo prácticamente muy eficaz (L'Hostis, 2017).

4.1 Aplicando filtrado Hampel

(9)

(10)

(11)

(12)

(13)

(14)

Una vez aplicado las ecuaciones antes descritas y hallando Hampel y los límites, el resultado de las filtraciones se vislumbra en la siguiente figura.

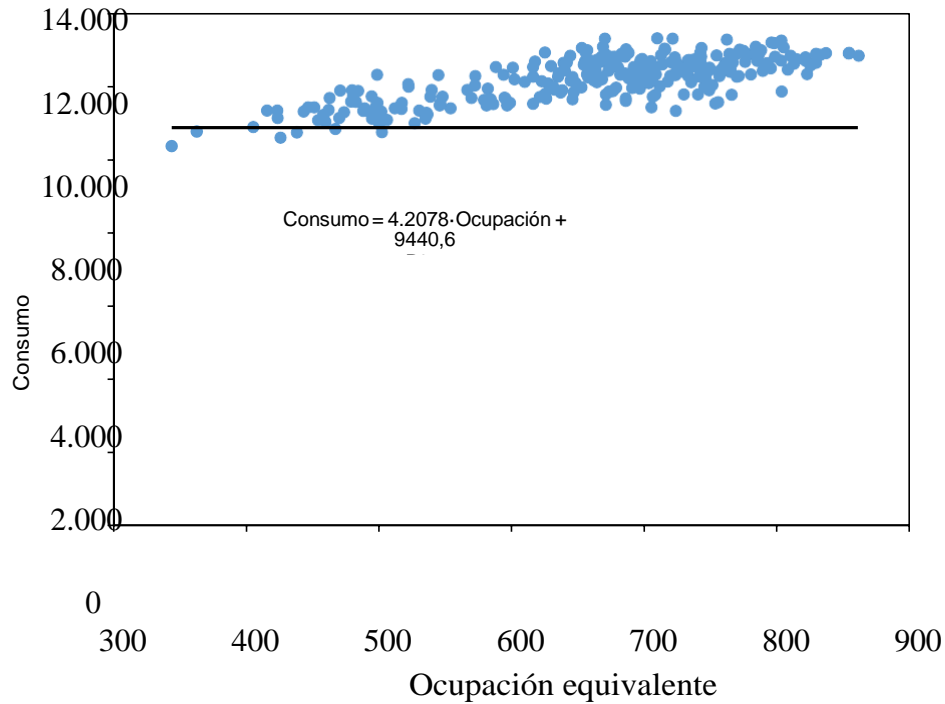


Figura 21. Correlación ocupación Vs consumo electricidad con filtrado Hampel. Fuente: Autor. En este caso, la correlación sigue siendo inferior al 65%, al aplicar el filtrado de Hampel la correlación mejora ligeramente, pero no lo suficiente para ser considerada como una EnB adecuada para el análisis energético.

Para mejorar la correlación, se incluye en el indicador de ocupación la cantidad de personal administrativo y asistencial que labora por día en la Clínica Portoazul, con lo anterior obtenemos la *ocupación equivalente I* y conseguimos la siguiente gráfica.

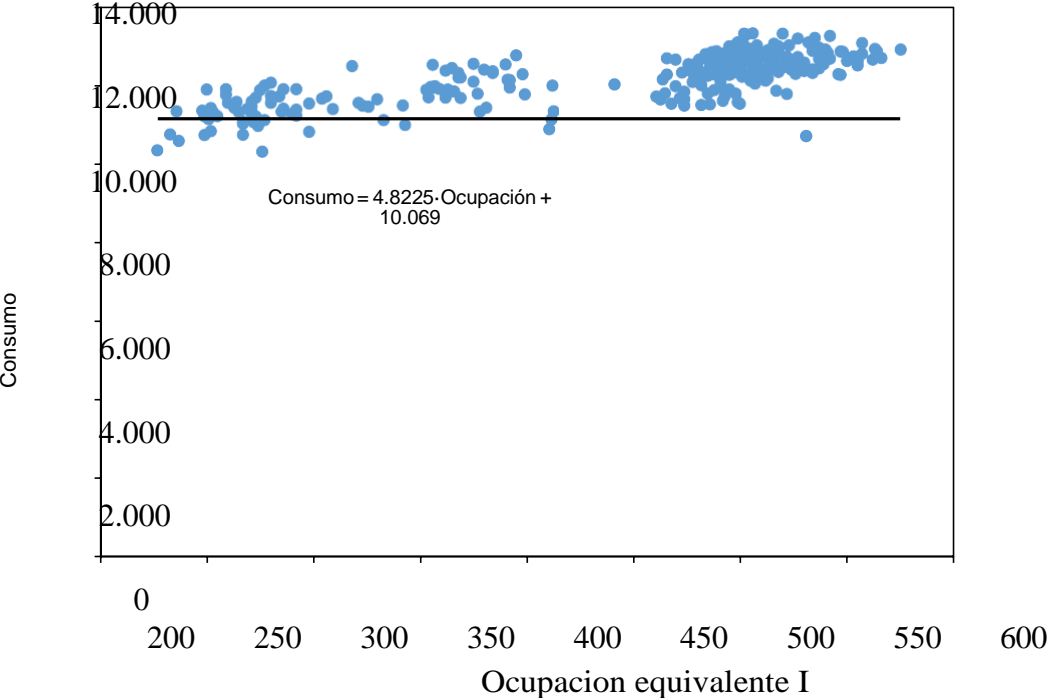


Figura 22. Correlación ocupación equivalente I Vs consumo energía eléctrica.
Fuente: Autor.

Los resultados de la figura 22 sigue mostrando una correlación inferior al 65%, recordemos que en este análisis se incluyó la cantidad de colaboradores tanto asistenciales como administrativos que laboran diariamente en la compañía.

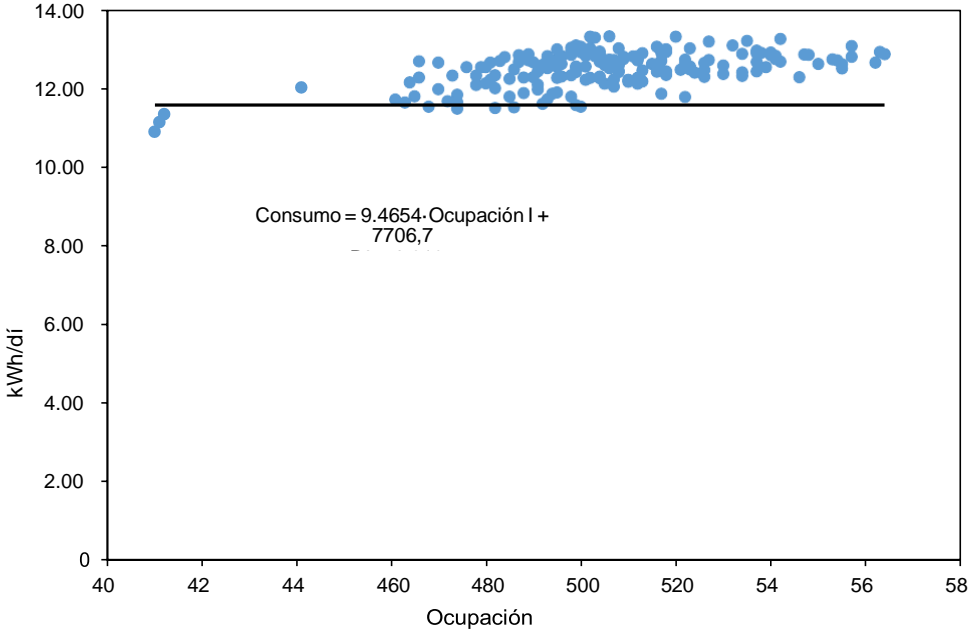


Figura 23. Correlación ocupación I Vs consumo electricidad con filtrado Hampel. Fuente: Autor.

Al aplicar el filtrado de Hampel, la figura anterior muestra una correlación con regresión en el valor R^2 , lo cual nos indica que el indicador de ocupación equivalente I no es el adecuado para nuestro caso.

Haciendo un análisis teórico del funcionamiento de la Clínica Portoazul nos damos cuenta que los servicios asistenciales de la compañía funcionan con la misma carga de colaboradores asistenciales sin importar la cantidad y/o número de pacientes, incluso con el valor de cero (0) pacientes la carga del personal asistencial es la misma debido al estándar que los rigen y además estos mismos estándares hace que los diferentes servicios requieran de un mínimo de temperatura para su correcta operación.

Por otro lado, lo colaboradores administrativo ubicado en áreas de apoyo varían en

la cantidad y espacio físicamente ocupado, dado lo anterior se procede con realizar una ***ocupación equivalente II*** que solo incluya los colaboradores administrativos de la compañía, debido a que la carga disminuye por horario, por días y por cantidad de pacientes, el resultado es presentado en la siguiente figura.

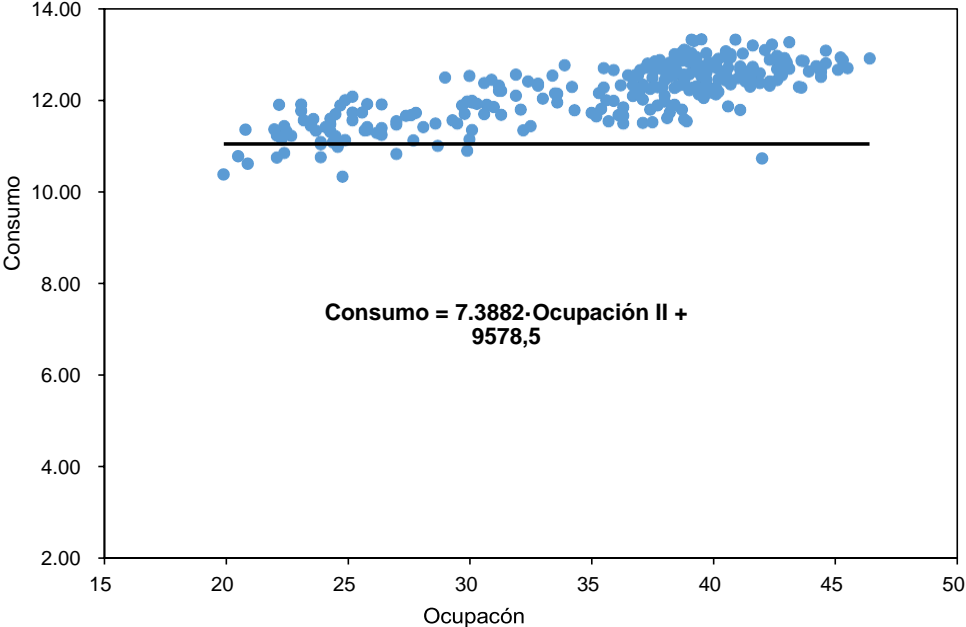


Figura 24. Correlación ocupación II Vs consumo electricidad. Fuente: Autor.
La **ocupación equivalente II** presenta mejor correlación con el consumo eléctrico de la clínica. Se aplica un filtrado de Hampel para mejorar la correlación.

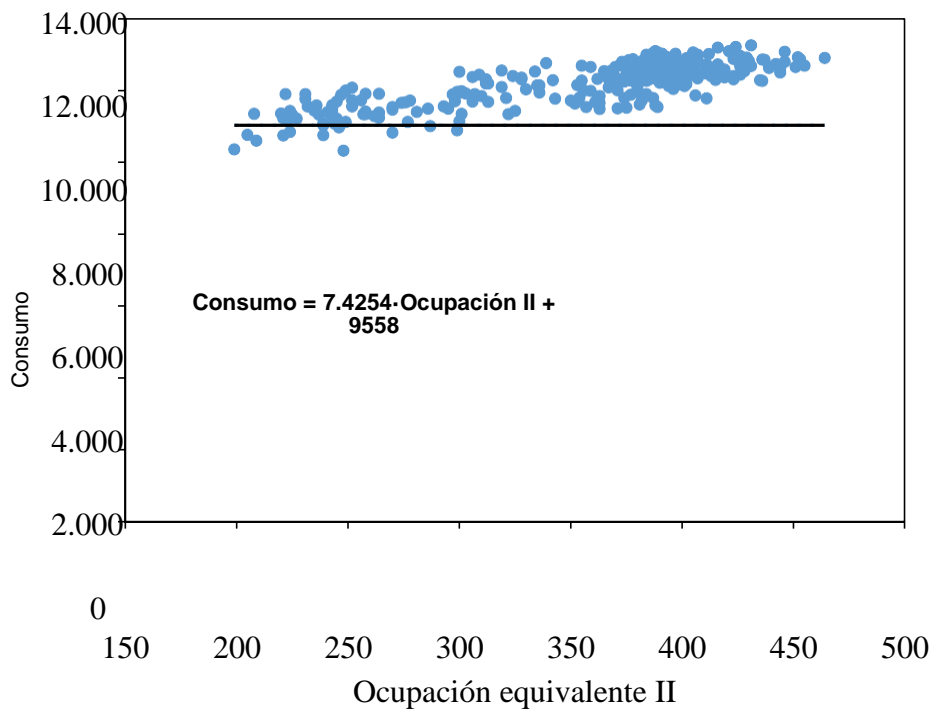


Figura 25. Correlación ocupación equivalente II Vs consumo energía eléctrica con filtrado Hampel. Fuente: Autor.

En este caso el filtrado hace que la correlación aumenta a $R^2 = 0,6542$. Por consiguiente, cumple con nuestro objetivo y podemos usarla como EnB en el análisis de la Clínica Portoazul.

Los datos de consumo real que cumplen con la condición descrita, son los datos utilizados para la construcción de la EnB y se determina como una correlación entre la ocupación equivalente II y el consumo de energía e indica que la base del consumo energético para diferentes valores de *ocupación* asociada directamente a la cantidad de pacientes y colaboradores administrativos.

En este caso la línea basa está determinada por la ecuación 15:

(15)

Donde:

E – Consumo de electricidad O_{eq} . – Ocupación equivalente

Con la ecuación (15) de línea base energética que es una referencia cuantitativa que proporciona la

base de comparación del desempeño energético, por tanto, se puede realizar el cálculo del consumo de energía tanto en un futuro como en el pasado y de gran importancia, en el presente si se obtienen los datos diarios de la ocupación equivalente II.

A partir de la EnB se define el EnPI como siguen en la ecuación 16:

4.2 Medidas iniciales para mejorar la eficiencia energética

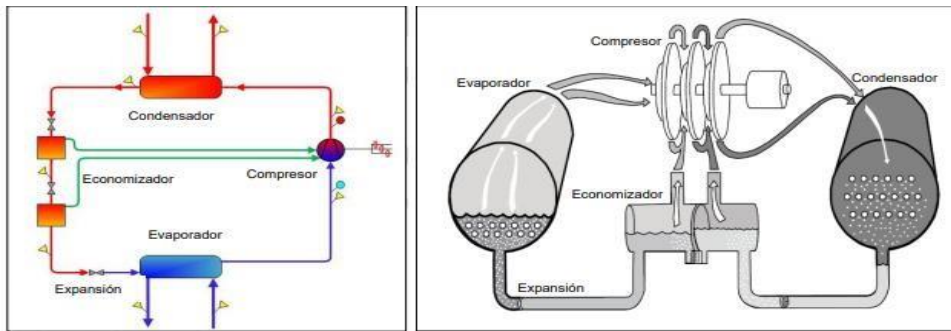
Según la Agencia Internacional de Energía (AIE, 2012), la optimización energética de las tecnologías en operación es la forma más asequible para reducir el consumo de energía en la explotación de edificaciones. Este estudio arrojó como resultado que el mayor consumidor de energía eléctrica son los Chillers que se usan para climatizar la Clínica Portoazul.



Figura 26. Chiller centrífugos Trane CVHE capacidad 380 toneladas.
Fuente: Autor.

Dada la investigación la Clínica Portoazul se decidió a Implementar un **Sistema de Administración de Sistemas de Climatización (SASC)** en los siguientes equipos de producción de frío: 2 chillers de tornillo marca TRANE de 380 TR nominales cada uno, incluye el sistema de bombeo de 6 bombas de 40 HP cada uno, el propósito consiste en monitorear de manera permanente el desempeño energético y la eficiencia de los equipos.

El monitoreo corresponde al ciclo de refrigeración que se muestra a la figura 27



a continuación:

Figura 27. Ciclo de refrigeración Chiller centrífugo marca Trane. Fuente: (Santo, 2014)

El monitoreo remoto de plantas de agua helada enfocado en el desempeño energético de los equipos que conforman el sistema, teniendo en cuenta que éstos representan un alto porcentaje del consumo energético de la compañía. El SASC se convierte en una herramienta muy útil para la labor de mantenimiento ya que busca garantizar que los equipos y sistemas trabajen todo el tiempo a la mayor eficiencia posible. Esto se logra con el monitoreo continuo de los parámetros clave del desempeño energético, tales como: el SEI, COP, kW/TR, Approach, Subcooling, Superheat, presiones y temperaturas del ciclo, entre otras. Se pueden programar alarmas y recomendaciones cuando alguno, o varios de estos parámetros salen de los valores eficientes de trabajo evidenciando la causa de las desviaciones, además se realizan reportes semanales y mensuales del comportamiento de los sistemas, costos de producción de frío, costos de ineficiencias, eventos, entre otros.

4.2.1 Alcance Técnico del sistema de monitoreo remoto

El sistema de monitoreo remoto incluye:

- Suministro e instalación de equipos para medición en los Chillers
- Sensores y transmisores de acuerdo a los modelos de los Chillers actuales
- Sistema de adecuación y transmisión de señales
- Establecimiento de plataforma de procesamiento de la información
- Sistema de interfaz remota hombre – máquina
- Sistema de transmisión remota de información para análisis

4.2.2 Variables a monitorear

El monitoreo se realiza sobre todas las variables internas del ciclo de refrigeración y las variables externas de agua y/o aire para determinar los rendimientos de cada sistema en el tiempo:

- Presiones y temperaturas de refrigerante
- Potencia consumida por los compresores
- Temperaturas de agua en el evaporador
- Temperaturas de agua y/o aire en el condensador
- Presiones del agua y/o aire

4.2.1 *Análisis y procesamiento de señales*

El sistema analizará y procesará las siguientes variables:

- Índices: COP, kW/TR, SEI

- Consumo energético
- Horas de funcionamiento, paradas, disponibilidad
- Causas posibles de paradas
- Costo de energía en horas de funcionamiento
- Costo de las TR producidas
- Sobreconsumos y sobrecostos de energía por desviación de los parámetros operativos

4.3 Distribución consumo electricidad sistema

El consumo de electricidad del sistema de climatización de la Clínica Portoazul está dividido como indica la siguiente figura según mediciones del SASC.

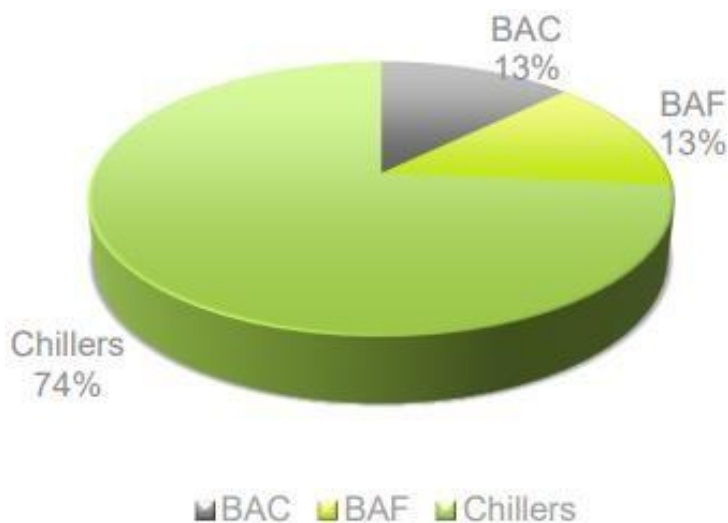


Figura 28. Consumo eléctrico sistema de climatización por equipos. Fuente: Autor.

En la figura anterior se observa durante la etapa de medición un comportamiento del consumo de electricidad de las BAC y BAF de forma constante y un mayor consumo en el chiller centrífugo.

4.4 Desempeño energético Chillers

Con respecto a las cargas el chiller trabajó a cargas parciales todo el tiempo, las cargas variaron desde 215 TR hasta 310 TR, lo cual muestra un porcentaje de carga que va desde el 56% al 82%, como se muestra en la siguiente figura.



Figura 29. Eficiencias reales Chiller CHVE Clínica Porto azul al 76% de carga (arriba) y al 58% de carga (abajo). Fuente: Autor.

El Índice de eficiencia del sistema varía del 47% para el escenario de mayor carga, hasta el 42% para media carga.

4.3.1 Eficiencia Compresor

La eficiencia del compresor varía entre el 61% y el 71% con respecto a la carga, a mayor exigencia, mejora significativamente la eficiencia del compresor. Estos valores están dentro de los parámetros normales de eficiencia para este tipo de compresores según muestra la siguiente figura.

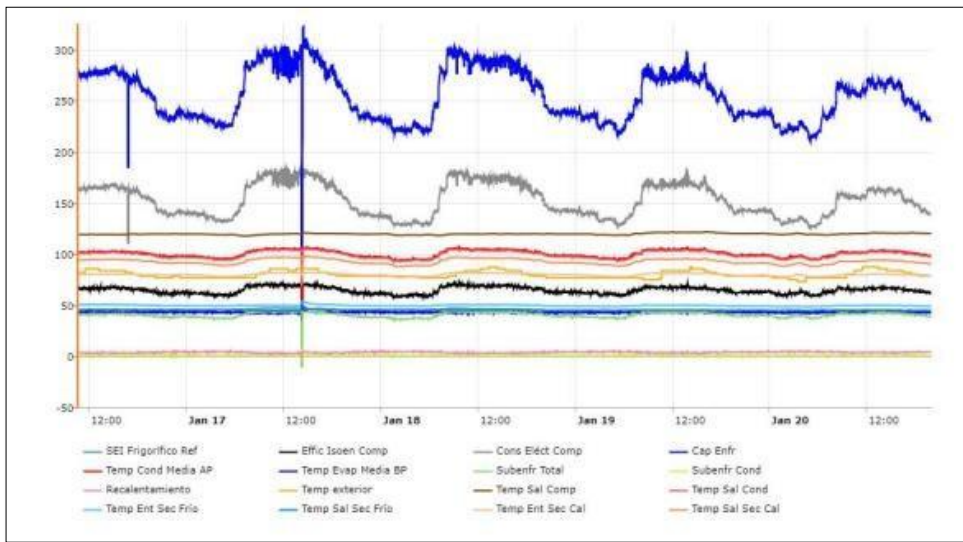


Figura 30. Comportamiento del Chiller centrífugo. Fuente: Autor.

El impacto negativo por estas variaciones de eficiencia tan grande es mitigado un poco porque la diferencia de presiones entre el evaporador y el condensador también disminuye de 17,2 psid hasta 12,33 psid (entre media y baja carga) acorde a la figura a continuación.

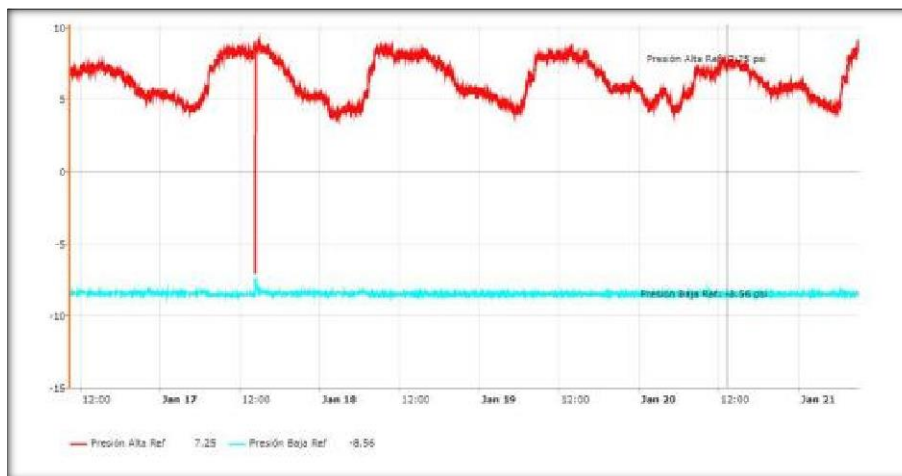


Figura 31. Comportamiento presiones Chiller centrífugo. Fuente: Autor.

El uso de este equipo a cargas parciales tiende a originar bajas eficiencias; lo ideal es que se mantenga entre el 65% y el 75%.

4.3.2 *Eficiencia de intercambiadores de calor y approach.*

El approach se define como la diferencia de temperatura entre los fluidos de intercambio de calor. Generalmente es la diferencia entre la temperatura del agua de salida o la temperatura del aire, y la temperatura del refrigerante saturado (líquido).

En el evaporador el refrigerante debe mantener una temperatura menor que la temperatura del agua enfriada de la salida y en el condensador (enfriado por agua) el refrigerante debe estar a mayor temperatura que la temperatura del agua de salida del condensador para transferir el calor del gas de descarga a alta temperatura al circuito de agua del condensador para condensar el refrigerante nuevamente en estado líquido.

De acuerdo a la siguiente figura la eficiencia del evaporador tomando comparación directa con el data sheet del chiller registra valores altos cercanos al 90% con approach de 3°F y es estable a pesar del porcentaje de carga, ya que se tiene un evaporador inundado que funciona por control de nivel y con flujo constante de agua fría.

El condensador muestra una eficiencia mucho más baja que varía entre el 75 y el 80% y empeora a medida que aumenta la carga, lo mismo que el approach que presenta variaciones entre 7°F y 10°F (media y alta carga respectivamente). Estos valores tan altos de approach indican que se le debe realizar limpieza interna al condensador para remover incrustaciones. Trane recomienda que el valor del approach debe mantenerse por debajo de 7°F en el escenario de más alta carga.

En la figura 33 se observa valores temperatura de saturación de refrigerante en condensador y evaporador, así como las temperaturas de entrada y salida del agua de los intercambiadores de calor.

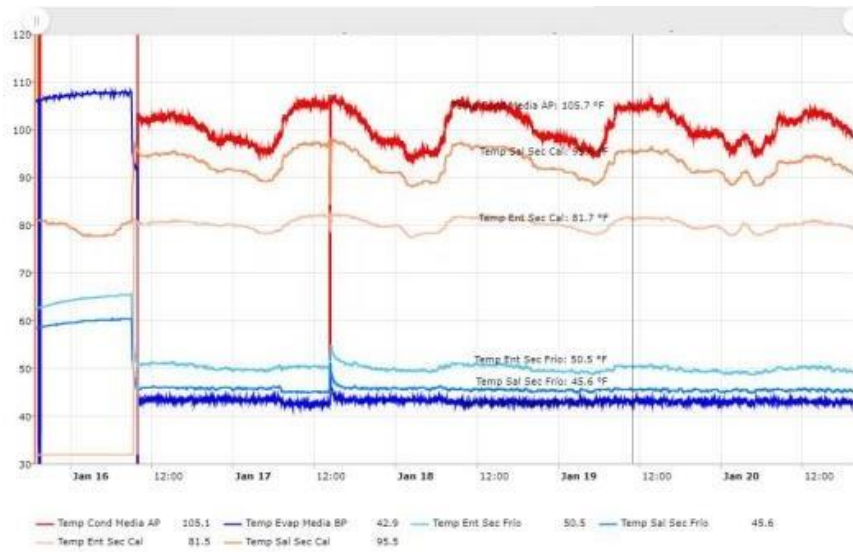


Figura 32. Comportamiento Approach Chiller centrifugo. Fuente: Autor.

En la figura se observa que, al bajar la carga térmica requerida, baja el Approach del condensador y baja el delta de temperatura de agua en el evaporador y condensador; por el contrario, al subir la carga, sube el approach del condensador y el delta de temperaturas de agua en los intercambiadores. Esto último es consecuencia de que se trabajan sistemas de flujo constante de agua, a pesar de que las bombas de agua fría poseen variadores de velocidad.

4.3.3 Diferencia de temperatura en el evaporador

En cuanto al delta de temperatura del evaporador, debido a que se tiene un sistema de bombeo de flujo constante, varía constantemente con la carga de acuerdo a la figura 33 con la mayor carga registrada (310 TR), se presenta un delta de temperatura de 5,2°F y cuando se presenta baja carga, el delta de temperatura baja a valores de 3,6°F.

4.3.4 Diferencia de temperatura en el condensador

Para el condensador, el comportamiento es similar en cuanto a que se presentan variaciones del delta de temperatura de agua con respecto a la carga, pero en el condensador las variaciones van desde los 10,5°F para la baja carga, hasta los 15,2°F para la mayor carga registrada.

4.3.5 Set Point equipo

El set point de temperatura de agua fría es variable, es menor durante el día $6,44^{\circ}\text{C}$ y mayor durante la noche 9°C .

4.3.6 Sobre calentamiento y subenfriamiento.

El subenfriamiento y sobre calentamiento se encuentran dentro de los valores normales entre 10°C y 7°C para este tipo de equipos, indicando que el dispositivo de expansión trabaja de manera adecuada y con la carga de refrigerante correcta.

4.4 Línea meta energética

El análisis de gestión energética basado en el consumo de electricidad y la influencia sobre la ocupación equivalente II permite predecir el comportamiento real sobre el cual se puede operar eficientemente y en ingeniería se denomina Línea Meta.

La investigación no incluyó los meses de marzo, abril, mayo y junio del año 2020 por ser un periodo anormal en la ocupación y el consumo energético debido a la pandemia mundial derivada de la enfermedad por coronavirus iniciada en diciembre de 2019 en china (COVID-19), ocasionada por el virus coronavirus 2 del síndrome respiratorio agudo grave (SARS-CoV-2).

Los datos de consumo y ocupación equivalente II que se usaron para plasmar los resultados de la línea meta fueron tomados de los meses de enero y febrero del año 2020 debido a la pandemia COVID-19 explicado anteriormente.

A partir de la EnB encontrada la ecuación uno (1) se estableció una línea meta energética que se muestra en la figura 29 como una línea recta de color negro y los datos de consumo se muestran como puntos azules y que además se observa un comportamiento del consumo de energía eléctrica muy constante.

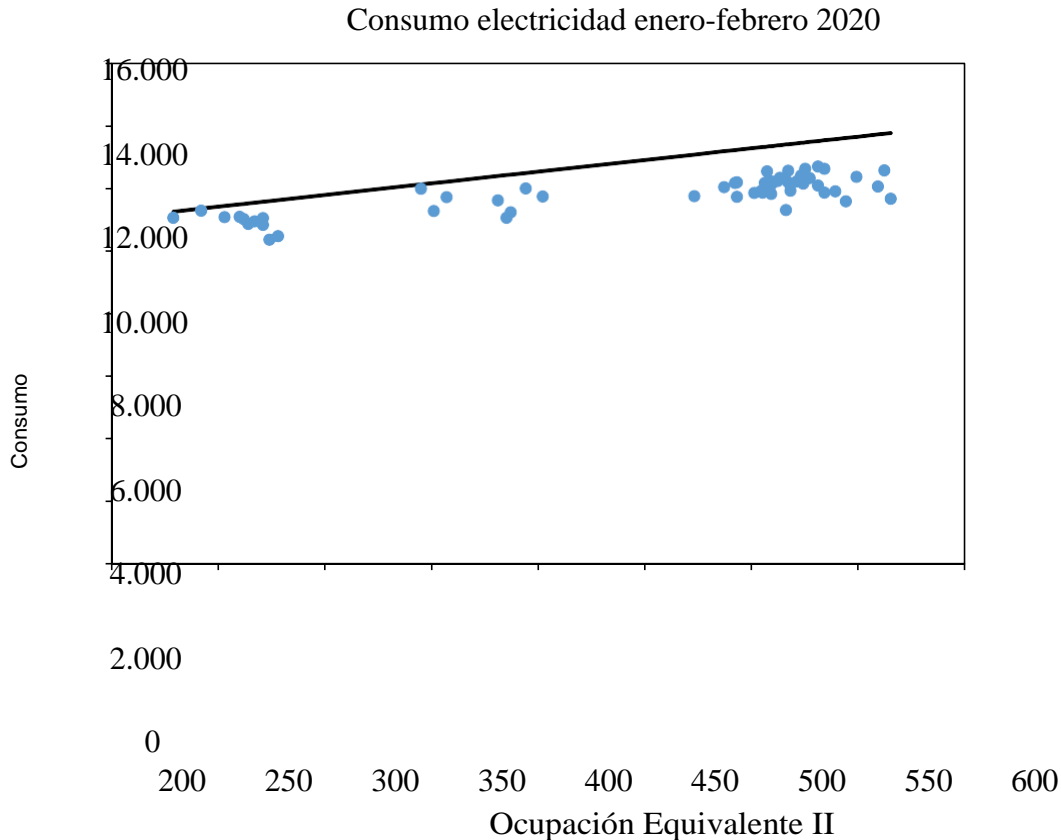


Figura 33. Línea Meta - Consumo por debajo de la línea base. Fuente: Autor. Se puede observar en la gráfica anterior claramente que las medidas de gestión energética del sistema de climatización implementado por la Clínica Portoazul han funcionado correctamente para disminuir el consumo de energía eléctrica por debajo de la línea meta y poder generar un ahorro en el consumo de energía eléctrica.

El sistema monitorea en tiempo el estado actual de todas las variables que componen el sistema de enfriamiento de las compañías y envía alarmas cuando algún parámetro esta por fuera de los parámetros establecidos de eficiencia para proceder a corregir inmediatamente.

También se podrá anticipar cuales son los períodos óptimos económicamente de ejecución de los mantenimientos preventivos por condición, ineficiencias, gestión de alarmas de las desviaciones de las variables de funcionamiento de los equipos y recomendaciones para retornar a condiciones óptimas de trabajo.

Conclusiones

Un paso importante para mayores estándares de eficiencia energética en una clínica es la definición de un indicador de desempeño energético. Una ventaja del EnPI definido para la clínica Portoazul es que es fácil de calcular e implementar, por lo que puede ser manejado por el personal técnico de la clínica. En general, la implementación del sistema de gestión contribuyó a que la Clínica Portoazul controle el consumo eléctrico e identifique rápidamente ineficiencias en el sistema eléctrico. De esta forma se reducen los costos de operación de la clínica. En particular, el mayor consumidor de energía eléctrica en la clínica Portoazul es el sistema de climatización de agua helada, conformado por los Chillers centrífugos y el sistema de bombeo de agua helada y condensación. Por consiguiente, se enfocó parte del sistema de gestión en el sistema de chillers. Es decir, cuando se detecta un mal desempeño del EnPI en la clínica, primero se chequea el funcionamiento de los chillers, y luego otros consumidores energéticos.

Recomendaciones

Se recomienda evaluar la planta de agua helada para caracterizar el comportamiento de la demanda del agua helada de las unidades manejadoras de aire (UMAS), y definir si el sistema actual está diseñado acorde con la demanda de frío y si este se encuentra balanceado. Para esto es necesario revisar las válvulas de 2 vías en las tuberías y el gradiente de temperatura entre la entrada y la salida del chiller para evitar sub enfriamiento del agua helada y evitar ineficiencias en el sistema.

Por otro lado se recomienda contabilizar los visitantes que ingresan y egresan de la clínica (que representan una parte significativa del consumo eléctrico de la clínica) para mejorar la correlación del indicador de desempeño y mejorar el sistema de gestión energética, y los estándares de eficiencia de la Clínica Portoazul. Para facilitar esta medición, se sugiere instalar en cada entrada de la clínica cámaras con analítica, que permiten la identificación y conteo del personal que visita la Clínica Portoazul.

Bibliografía

- Allen, P. J., & Brennan, M. J. (2008). Energy management systems. *HPAC Heating, Piping, AirConditioning Engineering*, 80(11), 1–26.
- Allouhi, A., El Fouih, Y., Kousksou, T., Jamil, A., Zeraouli, Y., & Mourad, Y. (2015). Energy consumption and efficiency in buildings: Current status and future trends. *Journal of Cleaner Production*, 109, 118–130. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.139>
- Balbis-Morejon, M., & Noya-Sambrano, A. (2020). Thermal comfort evaluation in an educational building with air conditioning located in the warm tropical climate of Colombia. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 844(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/844/1/012030>
- Berkeley, L. (2010). *Thinking Globally: How ISO 50001 – Energy Management can make industrial energy efficiency standard practice Environmental Energy Technologies Division*. <https://escholarship.org/uc/item/92d8q553>
- Byrne, I., Executive, D. C., & Foundation, N. E. (2014). *ISO 50006: The new ISO standard for energy baselines and performance indicators*.
- Cabello, J. J., Sousa, V., Sagastume, A., Guerra, M. Á., Haeseldonckx, D., Vandecasteele, C., Guerra- Plasencia, M. A., Haeseldonckx, D., & Vandecasteele, C. (2016). Tools to improve forecasting and control of the electricity consumption in hotels. *Journal of Cleaner Production*, 137, 803–812. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.192>
- Daniela Rendon. (2020). Colombia en su camino a ser más eficiente energéticamente. *Forbes Colombia*. <https://forbes.co/2020/03/06/actualidad/colombia-en-su-camino-a-ser-mas-eficiente-energeticamente/>
- García Sanz-Calcedo, J., Cuadros, F., & López Rodríguez, F. (2011). La auditoría energética: Una herramienta de gestión en atención primaria. *Gaceta Sanitaria*, 25(6), 549–551. <https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2011.04.007>

González González, A., García-Sanz-Calcedo, J., & Salgado, D. R. (2018). A quantitative analysis of final energy consumption in hospitals in Spain. *Sustainable Cities and Society*, 36(June 2017), 169–175.

<https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.10.029>

International Organization for Standardization. (2013). *ISO 500*
International Organization for Standardization. (2014). *ISO 50015. 2014*.

International Organization for Standardization. (2020). *ISO*.
<https://www.iso.org/home.html>

Koulamas, C., Kalogeras, A. P., Pacheco-Torres, R., Casillas, J., & Ferrarini, L. (2018). Suitability analysis of modeling and assessment approaches in energy efficiency in buildings. *Energy and Buildings*, 158, 1662–1682.

<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.12.002>

L’Hostis, A. (2017). Detour and break optimising distance, a new perspective on transport and urbanism.

Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science, 44(3), 441–463.
<https://doi.org/10.1177/0265813516638849>

Langlois, P. (2018). *Energy Efficiency Performance Measurement and Data Due-Diligence in ISO 50001 and IPMVP : the Key to De-Risking Energy Efficiency Investments Intensive Learning Session EE Global 2018 Agenda - 1. May*.

Llamas, P. L. (2009). *Eficiencia energética y medio ambiente*. 75–92. López

Cristlà, M. (2011). *Salamanca, 2011*. 251.

Madrigal, J. A., Cabello, J. J., Sagastume, A., & Balbis, M. (2018). Evaluación de la Climatización en Locales Comerciales, Integrando Técnicas de Termografía, Simulación y Modelado por Elementos Finitos. *Información Tecnológica*, 29(4), 179–188. [https://doi.org/10.4067/s0718-](https://doi.org/10.4067/s0718-07642018000400179)

[07642018000400179](https://doi.org/10.4067/s0718-07642018000400179)

NSAI: National Standards Authority of Ireland. (2018). *ISO 50001 Energy Management System DETAILED GUIDE ISO 50001 Background. 2 MD-34-01 Rev 2*, 10. <https://www.nsai.ie/getattachment/Our->

Services/Certification/Management-Systems/ISO-50001-Energy-
Management/MD-34-01-Rev2- ISO-50001-Energy-Management1-1.pdf.aspx

Ocampo Batlle, E. A., Escobar Palacio, J. C., Silva Lora, E. E., Martínez Reyes, A. M., Melian Moreno, M., & Morejón, M. B. (2020). A methodology to estimate baseline energy use and quantify savings in electrical energy consumption in higher education institution buildings: Case study, Federal University of Itajubá (UNIFEI). *Journal of Cleaner Production*, 244. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118551>

Omer, A. M. (2008). Energy, environment and sustainable development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(9), 2265–2300. doi:10.1016/j.rser.2007.05.001 <https://doi.org/10.1016/j.rser.2007.05.001>

Oung, K. (2018). Introduction to ISO 50002 : How it fits into ISO 50001 family of standards. *Tsunami*.

Poveda, M. (2007). Eficiencia Energética: Recurso No Aprovechado Propuesta Para Avanzar De Las Palabras a La Acción. *Olade*. http://www.olade.org/sites/default/files/portal-ee/EFICIENCIA_ENERGÉTICA_RECURSO_NO_APROVECHADO-Agosto-2007.pdf

Procolombia. (2020). ¿Qué es una Zona Franca? <https://www.colombiatrade.com.co/contacto/preguntas-frecuentes/que-es-una-zona-franca>

Sagastume Gutiérrez, A., Cabello Eras, J. J., Sousa Santos, V., Hernández Herrera, H., Hens, L., & Vandecasteele, C. (2018). Electricity management in the production of lead-acid batteries: The industrial case of a production plant in Colombia. *Journal of Cleaner Production*, 198, 1443–1458. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.105>

Saidur, R., Hasanuzzaman, M., Yogeswaran, S., Mohammed, H. A., & Hossain, M. S. (2010). An end-use energy analysis in a Malaysian public hospital.

Energy, 35(12), 4780–4785. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.09.012>

Santo, D. B. D. E. (2014). An energy and exergy analysis of a high-efficiency engine trigeneration system for a hospital: A case study methodology based on annual energy demand profiles. *Energy and Buildings*, 76, 185–198. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.02.014>

Teke, A., & Timur, O. (2014). Assessing the energy efficiency improvement potentials of HVAC systems considering economic and environmental aspects at the hospitals. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 33, 224–235. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.02.002>

Thesis, B. (2016). *Faculty of Life Sciences Conception And Implementation of Energy Controlling Instruments According to. 2208274.*

Thinat, N., Wongsapai, W., & Damrongsak, D. (2017). Energy Performance Study in Thailand Hospital Building. *Energy Procedia*, 141, 255–259. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.11.102>

Wang, T., Li, X., Liao, P. C., & Fang, D. (2016). Building energy efficiency for public hospitals and healthcare facilities in China: Barriers and drivers. *Energy*, 103, 588–597. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.03.039>