



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Programa Único de Especializaciones en Ingeniería

Diagnóstico energético en una tienda departamental

TESINA

Que para obtener el título de

Especialista en Ahorro y Uso Eficiente de la Energía

P R E S E N T A

Carlos Andres Rosas Chaves

DIRECTOR DE TESINA

MI Verónica Flores García



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2020



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Contenido

INTRODUCCIÓN	4
CAPÍTULO I. MARCO CONTEXTUAL	5
SITUACIÓN ACTUAL	5
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	6
JUSTIFICACIÓN	6
OBJETIVO GENERAL	6
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
CAPITULO II. MARCO TEORICO CONCEPTUAL	7
CLIMATIZACIÓN	8
CLASIFICACION DE LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCION AGUA FRIA	9
SITEMA DE PRIMARIO/SECUNDARIO (PSF)	10
SISTEMA DE CAUDAL VARIABLE EN PRIMARIO (VPF)	11
DIFERENCIAS ENTRE SISTEMAS PRIMARIO/SECUNDARIO (PSF) Y DE	12
CAUDAL VARIABLE EN PRIMARIO (VPF)	12
VENTAJAS DE LOS SISTEMAS DE CAUDAL VARIABLE EN PRIMARIO	14
(VPF)	14
CONSIDERACIONES EN EL DISEÑO DE INSTALACIONES VPF	16
Selección de enfriadoras	16
Pérdida de carga en el evaporador	16
Límites de funcionamiento de los equipos	17
Número de unidades enfriadoras	17
Control de capacidad de la unidad	17
Rendimientos a cargas parciales de las unidades enfriadoras	18
European seasonal energy efficiency ratio	19
Selección de bombas de circulación	20
Sistema de gestión centralizado	20
Gestión conjunta de la instalación al completo	20
Gestión de la energía	21
Gestión del mantenimiento y conducción de la instalación	21
CAPITULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO	22
CONSUMOS ELÉCTRICOS DE LA TIENDA	24
INVENTARIOS DE EQUIPOS	27

Iluminación	28
Climatización	29
CÁLCULOS Y PROPUESTAS DE AHORRO ENERGÉTICO SEGÚN OPERACIÓN ...	33
Iluminación	33
Climatización	34
Sustitución tecnológica GAH.	34
Consumo actual por GAH:	35
Caudal Variable	39
Ahorros económicos	45
CAPITULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS	47
Conclusiones	47
Bibliografía.....	49

INTRODUCCIÓN

A partir de la fluctuación de los precios de los energéticos y la necesidad del consumo de los mismo de cualquier industria o inmueble para realizar sus procesos productivos y/o prestación de servicio, aunado a un incremento por la conservación medio ambiental, se ha venido desarrollando programas, proyectos y acciones que mejoran el desempeño energético de las organizaciones a lo largo del mundo en los diferentes ramos de los sectores de la economía.

Considerando el desarrollo que se vive en diferentes países el desempeño cobra importancia en ciudades como la Ciudad de México se viva un *boom* de construcciones destinadas al ocio y consumismo de sus habitantes, ejemplo de ello son las plazas comerciales y con ellas las tiendas departamentales.

Este *boom* hace que las empresas que proyectan, desarrollan y administran tiendas departamentales busquen destacar en rubros como el confort, comodidad, satisfacción y experiencias de sus clientes sin importar los costos indirectos que esto con lleva. Practica que con el incremento constante de los costos energéticos comienza a impactar en el costo operativo de los inmuebles, por ello con esta meta económica de la parte interesada se trabajó en un proyecto de ahorro de energía que además del beneficio monetario da como valor agregado mejoras operativas y ambientales.

Es por eso que se tomó una tienda como caso de estudio donde se realizó un diagnóstico energético que generó oportunidades de ahorro de energía manteniendo las condiciones operativas y que, en búsqueda de una mejora en el desempeño energético de la tienda se logre disminuciones en el consumo de energéticos y por ende en facturación eléctrica que se puede expresar a futuro en métricas ambientales. Así mismo se muestra que indirectamente las medidas de ahorro en energía mejoran en la operación y control de los equipos estudiados facilitando las labores de mantenimiento que se llegan a realizar, todo esto como valor añadido.

A lo largo del documento se describe las primeras acciones a realizar, identificación y discriminación de sistemas consumidores según su importancia, acciones para mejora del desempeño energético, cálculo de ahorros energéticos, económicos y costos de implementación. Esto se presenta como las acciones a realizar para atacar la problemática del alto consumo y coste energético, en dichas acciones se hace una comparativa entre el costo de implementación y los beneficios energéticos.

Se logra así tener un programa con ahorros de hasta del 44% con diferentes acciones a realizar en diferentes sistemas además de la propuesta de diferentes modelos de negocio para la implementación y desarrollo del proyecto

CAPÍTULO I. MARCO CONTEXTUAL

SITUACIÓN ACTUAL.

El siguiente estudio se realiza en una empresa mexicana operadora de tiendas departamentales de lujo y restaurantes gourmet, enfocados al consumidor de ingreso medio y alto. Opera en el país 254 tiendas departamentales, 6 *Duty Free* y 23 centros comerciales distribuidos en todo el territorio mexicano; es la segunda empresa con mayores ventas en el sector de tiendas departamentales en México.

De las tiendas posibles candidatas ofrecidas por el interesado, se seleccionó una tienda ubicada en el centro de la Ciudad de México en el centro comercial Parque Delta

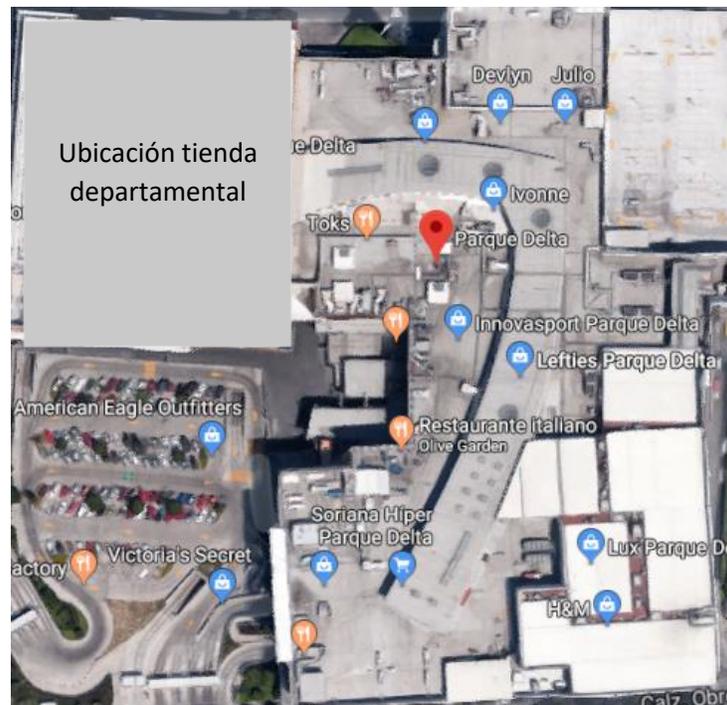


Figura 1. Ubicación geográfica tienda departamental.

La tienda tiene una superficie aproximada de 28 000 m² que incluye piso de ventas, zonas administrativas, bodegas y áreas para equipos de servicio y apoyo.

Al ser un inmueble que ofrece productos y servicios a sus clientes sus principales consumos energéticos están enfocados a la operatividad de las instalaciones y el confort, por lo cual sus consumos energéticos principalmente se deben a los sistemas de iluminación, climatización, misceláneos y equipos de fuerza.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El alto consumo energético de los sistemas que proporcionan servicio a la tienda departamental afecta directamente a los costos operacionales, la productividad y competitividad de esta empresa prestadora de servicios.

Una de las posibles causas a los altos consumos, además del incremento en los costos de los energéticos, son las políticas estrictas y exigentes para la satisfacción de sus clientes; las cuales no consideran las capacidades, limitaciones y/o restricciones que llegasen a tener los equipos para suplirlas.

La empresa ha buscado en sus inmuebles como primera medida en ahorro de energía la sustitución tecnológica de sus equipos en los diferentes sistemas para cumplir con los parámetros operacionales y tener de manera indirecta ahorros energéticos, pero sin tener claro cuál es metodología apropiada para determinar las mejores opciones técnicas que suplan las necesidades que requiere una tienda departamental

JUSTIFICACIÓN

Las tiendas departamentales son inmuebles comerciales cuya operación es prácticamente constante y todos sus parámetros operacionales se deben de mantener en los puntos óptimos a lo largo de los 365 días del año, por lo cual un diagnóstico energético a profundidad permitirá conocer su desempeño energético así como evaluar sus costo de operación y realizar propuestas que permitan aumentar su competitividad en el sector.

Tomando que en consideración que México existen 2 275 tiendas departamentales ¹ con un crecimiento de apertura del 10% ², es importante sentar precedente de un diagnóstico energético en este segmento del sector poco permeado en temas de ahorro y uso eficiente de la energía

Además, el propósito de definir un esquema de planificación apropiado, idónea para analizar el consumo energético en una tienda departamental es lograr extrapolar lo desarrollado en este documento para las distintas tiendas que son de la empresa.

OBJETIVO GENERAL.

Realizar un diagnóstico energético en el cual se defina la viabilidad técnica y económica de acciones que mejoren el desempeño energético de una tienda departamental.

¹ Fuente: Profeco

https://www.profeco.gob.mx/encuesta/brujula/bruj_2013/bol244_tiendas_autoservicio.asp

² Fuente: Profeco

https://www.profeco.gob.mx/encuesta/brujula/bruj_2013/bol244_tiendas_autoservicio.asp

OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Caracterizar el consumo y la operación de los equipos y sistemas actualmente instalados.
- Desarrollar un análisis donde se estudie las oportunidades de ahorro encontradas y se dé certeza técnica del mismo.
- Determinar la viabilidad tanto en materia técnica como económica de un proyecto de eficiencia energética.
- Desarrollar un esquema de diagnóstico energético replicable en otras tiendas similares del sector

CAPITULO II. MARCO TEORICO CONCEPTUAL.

Para determinar la viabilidad técnica y económica de acciones que mejoren el desempeño energético en la tienda se debe de conocer primero la situación actual de la misma, en esta primera etapa se basará en las ISO 50001:2014 (Auditorías Energéticas) y en lo descrito en PMbook. El primer documento sirve como guía para la realización de auditorías energéticas basado en proceso metodológico y objetivo, con esto se pretende identificar las principales áreas de oportunidad en ahorro de energía; el segundo documento sirve como guía para desarrollar la planeación y ejecución de proyectos de manera metódica buscando disminuir los riesgos existentes en este tipo proyectos.

Como en todo proyecto una planeación y una metodología clara y definida ayudan al éxito del mismo, por lo tanto, un análisis de riesgos que incentive el correcto desarrollo del proyecto será una de las bases para disminuir la aparición de estos.

Los mayores riesgos que se pudieron haber presentado en este proyecto es la poca o nula comunicación entre los actores, falta de permisos o accesos en sitio, intervención de actores externos con fines comerciales y/o económicos, no disponibilidad de las herramientas de medición y cumplimiento con los plazos definidos.

Por lo tanto, un esquema de planificación de las acciones a realizar que ayude a mitigar riesgos latentes que se tengan en el desarrollo del estudio es:

- Planeación para la caracterización y toma de mediciones.
 - En la primera visita se hizo un primer levantamiento para conocer características de los equipos instalados y dimensionar el alcance del proceso de medición
 - Solicitud de información recibos de facturación de energéticos, planos e inventarios de equipos.
- Realización de mediciones.

- toma de mediciones en sitio las cuales se basarán en los tiempos definidos en el punto anterior.
- Análisis de condiciones de operatividad, horarios de operación y parámetros de operación.
- Identificación de indicadores energéticos y variables relevantes.
- Detección de programas de mantenimiento y reporte de acciones correctivas.
- Análisis de la información y desarrollo de propuesta.
 - Organización y clasificación de la información obtenida.
 - Desarrollo de hojas de cálculo y documentos técnicos.
 - Revisión y certificación técnica de los resultados obtenidos.
 - Desarrollo de propuesta bajo parámetros y condiciones de operación requeridas por el cliente.
 - Estudio y desglose de ahorros energéticos y económicos.
 - Estructuración de una propuesta con diagnósticos, estudios, memorias de cálculo y/o planes si así lo requiere.
- Conclusiones y recomendaciones.

Una de las fases importantes antes de realizar una auditoría energética es tener un contexto previo del inmueble y su giro principalmente, para así conocer que tipos de sistemas son potenciales consumidores intensivos de energía e identificar cuáles son las tecnologías y técnicas de operación existentes para dichos sistemas y comparar con la actualmente instalada. A raíz de esto se hace como consideración los siguientes sistemas:

- Iluminación.
- Climatización.
- Misceláneos.
- Equipos de fuerza.

A continuación, se hace la descripción de las tecnologías adecuadas en relación al beneficio operativo y de consumo para estos sistemas.

CLIMATIZACIÓN.

Independientemente de la complejidad del sistema que se use para enfriamiento, un sistema hidrónico está formado por unas unidades de producción de agua fría, bombas de circulación de agua, tuberías de distribución, unidades terminales y válvulas de regulación y control.

En los sistemas donde su modalidad de acondicionamiento se basa en la producción de agua helada e indistinto de la complejidad del mismo se está

compuesto por unidades de producción de agua helada, bombas de circulación de agua, tuberías de distribución, válvulas de control y regulación y unidades manejadoras de agua helada.

La red de tuberías de distribución de agua será a caudal constante o variable en función de las bombas asociadas y de las válvulas de regulación de caudal de las unidades terminales. La transferencia de calor que se realiza en estos sistemas es puramente sensible y, es proporcional tanto al caudal de agua circulante como al salto térmico que se produce en el agua entre la entrada y la salida de la batería de intercambio de la unidad terminal.

Dependiendo de la forma de distribución del agua podrá ser a caudal variable o constante y dependerá de la red de tuberías, las bombas asociadas y a las válvulas que se encuentren en el sistema. Es importante recalcar que en los sistemas de agua helada no existe cambio de fase en el fluido de trabajo (agua) siendo una transferencia de calor sensible y pudiendo expresar con la siguiente expresión:

$$Q = \rho * C_p * m * \Delta T \quad (1)$$

Donde

- Q = Carga térmica
- ρ (T, P) = Densidad del agua
- C_p (T) = Calor específico.
- \dot{m} = Flujo másico (caudal)
- ΔT = Diferencia de temperaturas

En la ecuación 1 el flujo másico o caudal tiene una relación indirectamente proporcional a la diferencia de temperatura, es decir que a menor diferencia de temperatura o salto térmico se requiere un mayor caudal para suplir los valores de la carga térmica requerida en ese momento. Es importante saber que en la mayoría de las aplicaciones de climatización principalmente en las de acondicionamiento las cargas térmicas a abatir son variables y considerando la ecuación los parámetros que podemos variar es el caudal y el salto térmico.

CLASIFICACION DE LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCION AGUA FRIA

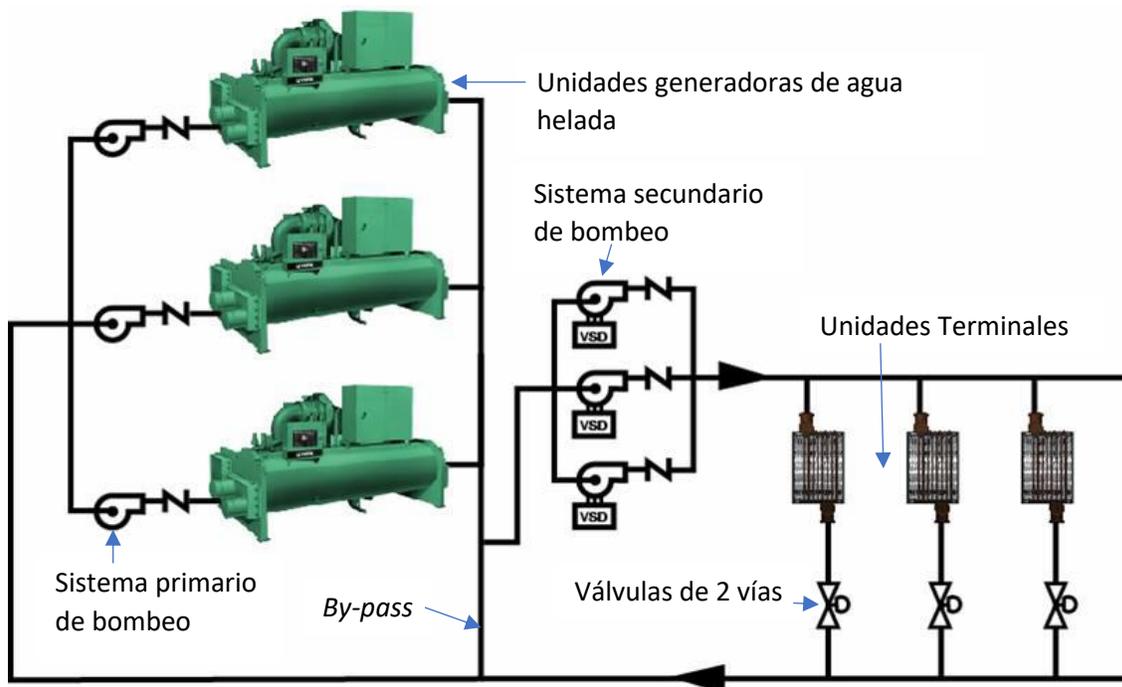
Las cargas térmicas a vencer por los sistemas de agua fría son casi siempre variables. Ante esas variaciones, y de acuerdo con la ecuación (1), el sistema deberá responder ya sea variando el caudal, variando el salto térmico o ambos. En función de esa variación, los sistemas se podrán clasificar en sistemas de caudal constante o sistemas de caudal variable. Centrándonos en los sistemas de caudal variable y atendiendo al número de grupos de bombeo instalados, podremos subdividirlos en:

- Sistemas de Primario/Secundario (PSF): aquellos que disponen de bombas de caudal constante en el circuito primario y bombas de caudal variable en el secundario.
- Sistemas de Caudal Variable en Primario (VPF): aquellos que únicamente poseen un circuito hidráulico común dotado de un grupo de bombeo de caudal variable.

SITEMA DE PRIMARIO/SECUNDARIO (PSF)

En la Figura 2 se muestra un ejemplo de un sistema de Primario/Secundario (PSF), estos arreglos se basan en la existencia de dos grupos de bombeo, uno de ellos ubicado en el circuito primario de la instalación, que trabaja a caudal constante, y con la característica de que cada enfriadora va asociada a su bomba de circulación, de forma las bombas no pueden funcionar con otra enfriadora. El segundo grupo de bombeo se encarga de impulsar el agua a través de las unidades terminales, dotadas de válvulas de regulación de caudal de 2 vías, de forma que este grupo deberá ser de caudal variable. Las presiones estáticas disponibles de diseño de ambos grupos de bombeo deberán permitir vencer la pérdida de carga en cada uno de los bucles del circuito de forma independiente.

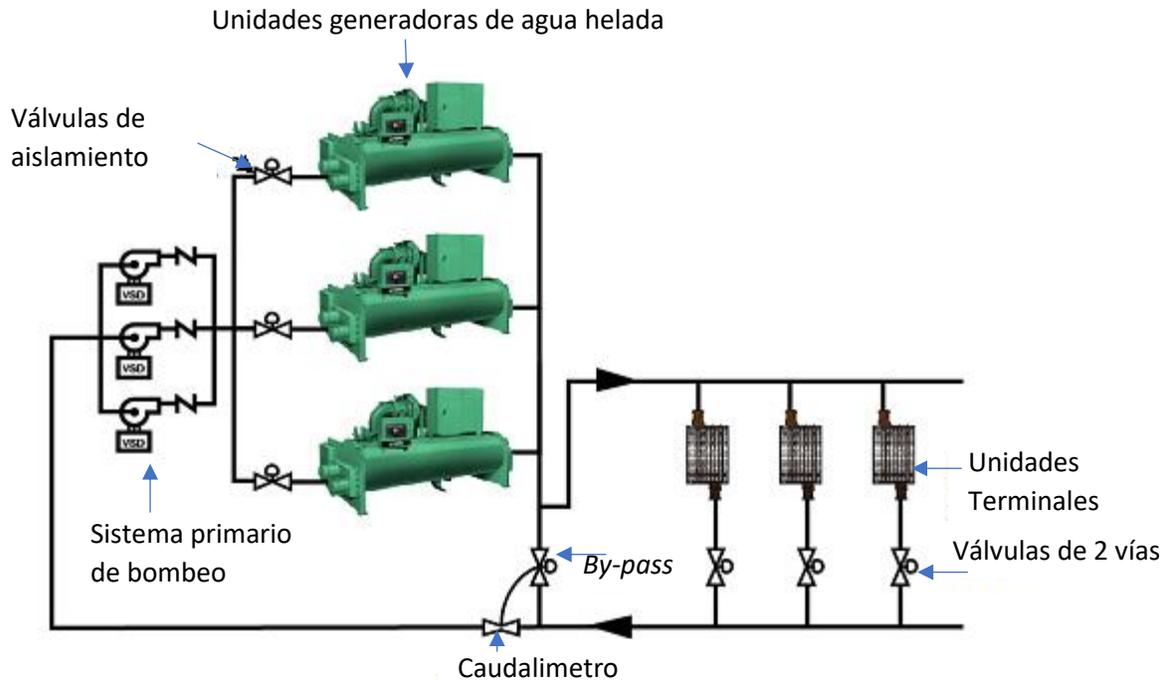
Los sistemas de Primario/Secundario (PSF) se caracterizan también por poseer un by-pass entre ambos circuitos, que permite circular caudal de agua en ambos sentidos en función del caudal que está recirculándose por cada bucle del circuito en un momento dado.



- **Figura 2. Descripción de un sistema (PSF)** Ref: "Sistemas de Caudal de Agua Variable en circuito primario", Maria Lorente, Juan Vico. Johnson Controls

SISTEMA DE CAUDAL VARIABLE EN PRIMARIO (VPF)

Los sistemas de caudal de agua variable en circuito primario se muestran en la figura 3, se caracterizan por la existencia de un único grupo de bombeo de caudal variable, diseñado para vencer la pérdida de carga total del circuito (primario más secundario) y, que recirculará el agua necesaria en cada momento para el funcionamiento del conjunto de la instalación a través de toda ella, incluso de las unidades enfriadoras. Estas bombas se instalan agrupadas, de forma que cualquiera de ellas puede trabajar sobre cualquiera de las enfriadoras del sistema. Cada unidad enfriadora estará dotada de una válvula de aislamiento automática, que cerrará en caso de que su enfriadora asociada esté parada.



- **Figura 3. Descripción de un sistema (VPF)** Ref: "Sistemas de Caudal de Agua Variable en circuito primario", María Lorente, Juan Vico. Johnson Controls

La demanda de caudal en el sistema, vendrá dada por la apertura o cierre de las válvulas de 2 vías de las unidades terminales, siendo éstas las que determinarán la cantidad de agua que circulará a través de las unidades enfriadoras. En la unidad terminal hidráulicamente más alejada de todo el circuito, se instalará un sensor de presión diferencial, que será el encargado de indicar en todo momento las variaciones de presión que van sucediendo en el circuito debido a la apertura y cierre de las válvulas reguladoras de caudal. Las bombas de circulación, dotadas de variador de frecuencia en el motor, responderán a esas variaciones de presión aumentando o disminuyendo el caudal que impulsan a la instalación.

En el sistema VPF también encontraremos un by-pass con una válvula de regulación de caudal y un caudalímetro: su misión es garantizar en todo momento que por el evaporador de las enfriadoras está circulando el mínimo caudal exigible por el fabricante para evitar problemas de hielo en el mismo.

DIFERENCIAS ENTRE SISTEMAS PRIMARIO/SECUNDARIO (PSF) Y DE CAUDAL VARIABLE EN PRIMARIO (VPF)

Podemos resaltar como diferencias más significativas entre los Sistemas de Primario/Secundario y los Sistemas de Caudal Variable en Primario las siguientes:

- El Sistema de Caudal Variable en el Primario (VPF) es factible siempre que se dote a la instalación de un robusto sistema de control centralizado de todos los elementos, de manera que se conjuguen las necesidades mínimas de los equipos (tanto de enfriadoras como de unidades terminales) y se optimicen los rendimientos energéticos de todos los elementos de la instalación. Esto supone analizar de forma continua los puntos de funcionamiento de las enfriadoras, los saltos térmicos en las baterías de las unidades terminales, las aperturas de las válvulas y los caudales bombeados a través de todo el circuito. Para todo ello será necesario un potente sistema de control centralizado en cual se regulen los parámetros de operación, horarios de funcionamiento, alertas y aperturas de válvulas entre otros para llevar un registro estricto y tener información compilada histórica del sistema.
- El Sistema de Caudal Variable en el Primario (VPF) elimina un grupo de bombeo de la instalación, y todos los elementos accesorios que éste lleva consigo, reduciendo así el coste de inversión inicial y las pérdidas de carga en el conjunto del circuito hidráulico (esto se traduce además en un ahorro energético). Este grupo de bombeo requerirá de más potencia que los que se seleccionan en el caso del PSF, puesto que la presión disponible deberá ser mayor en éste caso.
- Se separan las necesidades de caudal de agua de las necesidades de potencia frigorífica: la consecuencia más importante es el ahorro energético que se produce por hacer circular por la instalación el caudal de agua adecuado en cada momento, y por la mejora en el rendimiento de los equipos que supone el poder mantener el ΔT de diseño. En el sistema no existe exceso de caudal en ningún punto. otra consecuencia es que se alarga el ciclo de vida de las enfriadoras.
- Se reduce el tamaño de la línea de *by-pass*: debe diseñarse para que por ella pueda pasar el caudal mínimo admitido en el evaporador de la enfriadora más grande.
- Requiere que se instalen caudalímetros o sensores de presión diferencial en los evaporadores de los equipos para garantizar el caudal de agua mínimo a través de ellos.
- Necesita que se instale un sensor de presión diferencial en el punto más alejado del circuito hidráulico, para garantizar que siempre habrá agua circulando por todo él.³

• ³ Referencia "Sistemas de Caudal de Agua Variable en circuito primario", Maria Lorente, Juan Vico. Johnson Controls

VENTAJAS DE LOS SISTEMAS DE CAUDAL VARIABLE EN PRIMARIO (VPF)

ARTI, Air Conditioning & Refrigeration Technology Institute, es una organización sin ánimo de lucro que desde 1989 lleva a cabo investigaciones de interés público para este sector. ARTI realiza un gran esfuerzo en investigar sobre las necesidades de este mercado, haciendo énfasis sobre todo en aquellas que lo hacen más competitivo. La misión de ARTI es dar soporte y uniformidad a los esfuerzos en investigación que se realizan, así como darles cobertura y apoyo para su difusión. Inicialmente nació como un Instituto para el desarrollo de nuevos refrigerantes que protegiesen la capa de ozono, pero ha extendido su actividad al estudio de la integración de la climatización en los edificios con el objetivo de mejorar su eficiencia energética.

En el año 2004 ARTI promovió el INFORME 21CR VPF, en el cual se analizan los ahorros potenciales de diferentes instalaciones de climatización en caso de ser realizadas con sistemas de primario/secundario y sistemas VPF, en ambos casos con enfriadoras de velocidad constante. El estudio, realizado con un simulador, concluía estableciendo unos ahorros potenciales que a continuación citaremos:

MENOR COSTE DE INVERSION: Los sistemas VPF implican un menor coste de inversión inicial, que según el *informe 21cr VPF* se pueden cuantificar entre un 4% y un 8%, resultante de la valoración de los siguientes puntos:

- Se elimina completamente uno de los dos grupos de bombas que aparecía en los sistemas PSF: esto implica la eliminación de todas las válvulas auxiliares, filtros, reducciones, soportes, aislamientos térmicos especiales, cableado eléctrico, protecciones eléctricas de motores, elementos de control, cableado de control, etc. y, sobre todo, menor número de horas de mano de obra de montaje.
- El grupo de bombeo a valorar será de mayor potencia eléctrica, puesto que deberá tener la presión disponible suficiente para vencer la pérdida de carga total del circuito hidráulico al completo.
- La línea de *by-pass* será de menor diámetro que la del sistema PSF, puesto que solo tiene que circular el caudal mínimo de la enfriadora más grande.
- Necesidad de añadir caudalímetros para garantizar los mínimos requeridos por las unidades enfriadoras.
- Necesidad de un Sistema de Gestión y Control Centralizado más robusto.
- Necesidad de un mayor tiempo de puesta en marcha de la instalación.

MENOR ESPACIO OCUPADO: Los sistemas VPF requieren menos superficie de ocupación de sala de máquinas, debido fundamentalmente a la existencia de un único grupo de bombeo para toda la instalación. Como consecuencia, los accesos a los equipos serán mejores por esa mayor disponibilidad de espacio.

MENOR COSTE ENERGETICO DE EXPLOTACION: Según el estudio realizado por ARTI en su informe CR21 VPF, se establece como media de los ahorros energéticos generados por el empleo de un sistema VPF entre un 3% y un 8% de los consumos anuales de la instalación.

Estos ahorros provienen del menor consumo energético de los grupos de bombeo gracias a la capacidad de éste sistema de adaptarse realmente a la demanda generada por las unidades terminales y de los ahorros energéticos derivados del funcionamiento a cargas parciales de los equipos (siempre que se hayan seleccionado equipos de ésta característica).

4. MAYOR FIABILIDAD: El informe CR21 VPF de ARTI, señalaba un aumento de la vida útil de los equipos empleados en los sistemas VPF superior entre un 3% y un 5% a los empleados en un sistema Primario/Secundario, motivado fundamentalmente por:

- Menor cantidad de componentes mecánicos en el sistema.
- Menor número de horas de trabajo de las unidades enfriadoras, así como mejor funcionamiento de las mismas por hacerlo siempre en su rango de diseño de temperaturas.
- Cualquiera de las bombas puede servir para impulsar sobre cualquiera de las enfriadoras: nos dará más fiabilidad ante el fallo de una unidad. Esta filosofía permitirá emplear una única bomba de “reserva” de toda la instalación, y no como tradicionalmente se ha venido haciendo, colocando una bomba de reserva por cada bomba de funcionamiento.

SE COMBATE EL SINDROME DEL ΔT :

- Con el sistema VPF, las enfriadoras no entran en funcionamiento por la necesidad de caudal de agua demandada por las unidades terminales, sino por la necesidad de potencia frigorífica. Esto redundará en un menor número de horas de funcionamiento de los equipos, menor consumo energético y en un mayor ciclo de vida útil de los mismos.
- Se separan las necesidades de caudal de las necesidades de potencia frigorífica. Esto es una cuestión clave en los sistemas VPF y su diferencia fundamental con los sistemas de Primario/Secundario.

CONSIDERACIONES EN EL DISEÑO DE INSTALACIONES VPF

En esta sección enumeran los aspectos que el proyectista debe tener en cuenta a la hora de diseñar una instalación con el sistema VPF. Los más importantes son los siguientes:

Selección de enfriadoras

Es el aspecto más esencial a la hora de realizar un buen diseño de la instalación. Los requisitos que deben cumplir las unidades que se proyecten en éstas instalaciones son los siguientes:

Las unidades enfriadoras elegidas deben permitir variaciones de caudal muy importantes, que en algún caso pueden llegar a ser de hasta el 50% del caudal nominal. Estas variaciones suceden en el evaporador del equipo cuando se emplea una configuración en paralelo de las enfriadoras, y se da cuando una o varias unidades están en funcionamiento, y arrancamos o paramos un equipo adicional.

Según el número de máquinas que compongan la sala de máquinas, el equipo previsto debe ser capaz de absorber las siguientes variaciones de caudal en su evaporador:

Tabla 1.1 Variaciones de caudal según enfriadoras en paralelo

Secuencia de Enfriadoras	Índice de reducción del caudal (%)
Desde 1 a 2	55%
Desde 2 a 3	33%
Desde 3 a 4	25%
Desde 4 a 5	20%

Fuente: Elaboración propia

Pérdida de carga en el evaporador

Uno de los objetivos de las instalaciones VPF es reducir el consumo de las bombas de circulación, y para ello deberemos tener muy en cuenta cual es la pérdida de carga en el evaporador en las condiciones de diseño de la instalación. Estas pérdidas de carga deben ser facilitadas por el fabricante del equipo, y siempre hay que tener en cuenta que una pérdida de carga mayor en el evaporador, significará un mayor consumo de bomba o un salto térmico más elevado.

Límites de funcionamiento de los equipos

Según lo expuesto en el punto anterior, a la hora de seleccionar las enfriadoras deberemos tener en cuenta las velocidades de paso por el evaporador (caso de las máquinas con evaporadores inundados) o bien los caudales mínimos y máximos expresados por el fabricante en los límites de funcionamiento del equipo (caso de los evaporadores de expansión directa).

Tabla 1.2 Límites de funcionamiento en evaporadores inundados

	Velocidad Máxima (m/s)	Velocidad Mínima (m/s)
Evaporadores Inundados	3.6	1.0

Fuente: Elaboración propia

Y CIV	Capacidad (Kw)	Caudal de agua (l/s)		Pérdida de carga (KPa)	
	12°C/7°C – 35°C	Min	Max	Min	Max
0590	556	10,1	47,3	10,8	160,4
0630	595	10,1	47,3	10,8	160,4
0700	661	10,1	47,3	10,8	160,4
0760	714	11,4	47,3	12,5	150,1
0800	760	11,4	47,3	12,5	150,1
0830	791	11,4	47,3	12,5	150,1
0930	876	11,4	50,5	7,2	92,9
1050	983	15,8	75,7	6,2	86,1
1120	1047	18,9	75,7	11	105,1
1220	1139	18,9	75,7	11	105,1
1380	1380	18,9	75,7	11	105,1

Figura 4. Límites de funcionamiento y pérdidas de carga en evaporadores para diferentes capacidades de la marca YORK Ref Manual de operación unidades Y CIV Jhonsen Controls Año 2009

Número de unidades enfriadoras

Es también un factor decisivo a la hora de diseñar las salas de máquinas. Según el informe CR21 VPF citado anteriormente, los mayores ahorros energéticos se producen cuando se compara un sistema con una enfriadora con uno o dos circuitos de refrigeración. Si se opta por una sala de máquinas con más de una unidad enfriadora, es recomendable que todas ellas sean de características similares, especialmente en cuanto a potencia frigorífica y pérdidas de carga en el evaporador.

Control de capacidad de la unidad

Es uno de los aspectos más decisivos a la hora de definir los ahorros energéticos de la instalación. Tradicionalmente se han clasificado las enfriadoras según el

sistema de condensación que emplean (agua o aire), y dentro de cada uno de ellos se podían dividir por el tipo de regulación de capacidad (de etapas o proporcional) en función del tipo de compresor que incorporaban.

Hoy en día, debido a los avances tecnológicos, en especial a los de los sistemas de control, podemos encontrar otra clasificación más, la que subdivide tanto las enfriadoras condensadas por agua como por aire, en enfriadoras de velocidad constante y enfriadoras de velocidad variable, que son aquellas que incorporan variadores de velocidad vsd en los motores eléctricos que mueven sus compresores.

	Condensación por	Agua	Aire
Regulación de capacidad	Etapas	Herméticos Scroll Semi-herméticos Alternativos Tornillo de etapas	Herméticos Scroll Semi-herméticos Alternativos Tornillo de etapas
	Proporcional	Tornillo proporcional Centrífugo	Tornillo proporcional
Velocidad del motor	Constante	Herméticos Scroll Semi-herméticos Alternativos Tornillo de etapas ó proporcionales	Herméticos Scroll Semi-herméticos Alternativos Tornillo de etapas ó proporcionales
	Variable	Centrífugos Tornillo proporcional	Tornillo proporcional

Figura 5. Clasificación unidades enfriadoras. Ref Manual de operación unidades YCIV Jhonson Controls Año 2009

Rendimientos a cargas parciales de las unidades enfriadoras

Los sistemas VPF con enfriadoras dotadas de variador de velocidad en los motores de los compresores presentan unos ahorros energéticos superiores a los sistemas VPF con enfriadoras convencionales de velocidad constante. Esto se puede justificar mediante el gráfico adjunto, que recoge las curvas características del comportamiento de dos equipos centrífugos condensados por agua, con diferentes temperaturas de condensación y en el caso de emplear motor de velocidad constante o de velocidad variable.

A simple vista podemos ver que es más interesante trabajar con dos equipos de velocidad variable a carga parcial (entre el 60% y el 75% de la potencia) que, con un solo equipo a plena carga, puesto que los rendimientos de las enfriadoras a cargas parciales son mayores que los de las enfriadoras a plena carga. Luego una medida que podemos adoptar para mejorar el rendimiento energético de la instalación es dotarla de varias unidades enfriadoras, de forma que a través del sistema de gestión seamos capaces de en cada momento posicionar cada

elemento del conjunto en el punto en que el rendimiento energético conjunto sea lo más alto posible.

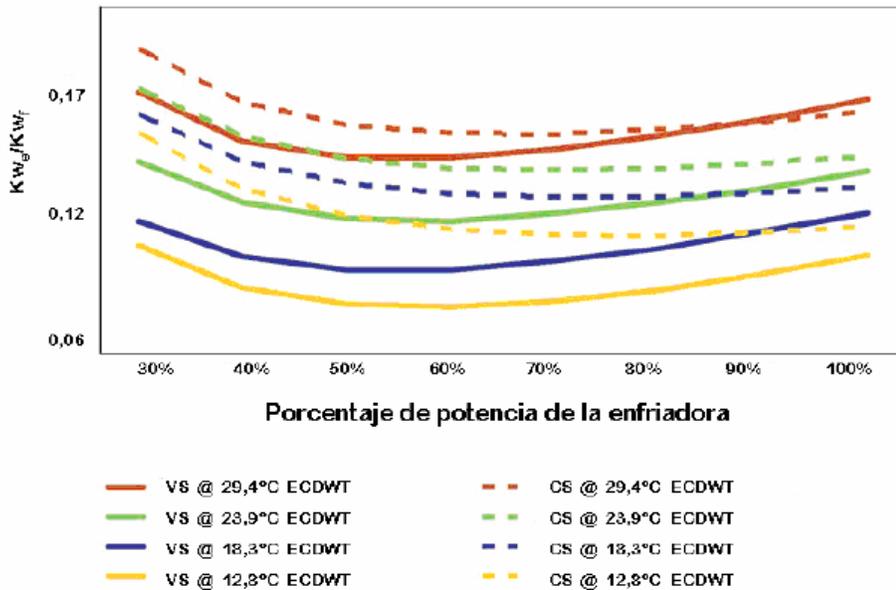


Figura 6. Relación del Coeficiente de operación contra potencia de una enfriadora
Ref Manual de operación unidades YCIV Jhonson Controls Año 2009

European seasonal energy efficiency ratio

Para conocer la eficiencia de operación en las máquinas de refrigeración se usan los coeficientes COP o EER que relacionan la cantidad de energía eléctrica consumida por el equipo y la cantidad de energía térmica entregada para su uso.

Hasta ahora, EUROVENT clasificaba las plantas enfriadoras en función de su EER, que tenía únicamente en cuenta la eficiencia energética del equipo a plena carga. Desde Julio de 2006, EUROVENT exige a los fabricantes participantes en su programa declarar el ESEER de los equipos, coeficiente que refleja los rendimientos de las plantas enfriadoras en distintas condiciones de temperatura de condensación y de carga frigorífica. Este coeficiente es la transposición a las condiciones de trabajo europeas del coeficiente IPLV (Integrated Part Load Value) empleado en EEUU. Servirá fundamentalmente para distinguir que equipos existentes en el mercado son más eficientes a cargas parciales.

Para el caso particular de los equipos condensados por aire, el ESEER lo define la Ecuación (2).

$$ESEER = 0.03A + 0.33B + 0.41C + 0.23D \quad (A)$$

Tabla 1.3 Valor de factores que debe de dar el fabricante a condiciones dadas

Factor ESEER	Porcentaje de Carga	Temperatura Aire Exterior °C	Temperatura Agua de Condensación °C
A	100%	35	30
B	75%	30	26
C	50%	25	22
D	25%	20	18

Selección de bombas de circulación

Es muy importante seleccionar las bombas de circulación de agua adecuadas para este tipo de instalaciones. Los puntos más importantes que deben tenerse en cuenta son los siguientes:

- Caudal de agua nominal: Las bombas deben seleccionarse para su caudal nominal de funcionamiento, es decir, aquel que corresponde al 100% del caudal nominal de la unidad enfriadora correspondiente.
- Presión disponible: La presión disponible nominal de las bombas que seleccionemos será al menos igual a la suma de las pérdidas de carga de todo el circuito hidráulico completo.
- Bomba de reserva: Se debe analizar en cada caso por parte del proyectista la conveniencia o no de instalar una bomba de reserva, aunque la recomendación es la de emplear una como reserva de todo el grupo de bombeo.

Sistema de gestión centralizado

Para un funcionamiento óptimo de las instalaciones VPF, debemos de contar con un Sistema de Gestión Centralizado robusto y avanzado, capaz de realizar las siguientes funciones:

Gestión conjunta de la instalación al completo

El éxito del funcionamiento de un sistema VPF radica en la implantación de un Sistema de Gestión capaz de coordinar las siguientes acciones:

- Control de la presión diferencial en punto hidráulicamente más alejado de la instalación.
- Control de la presión diferencial entre la entrada y la salida de cada evaporador de las máquinas.

- Medida de caudales de agua en evaporadores.
- Apertura y cierre de la válvula del bypass, asegurando el paso del mínimo caudal de agua exigido por el evaporador de la enfriadora más pequeña.
- Control de la apertura y cierre de las válvulas de aislamiento de las enfriadoras, coordinados con el arranque y paro de las máquinas, para evitar que se produzcan disparidades (compresor al 100% de capacidad con caudal de agua mínimo, situación que podría dañar el evaporador de la máquina). Sincronización de éstas acciones para coordinarlas con la variación de capacidad del equipo.

La gestión conjunta de la instalación aportará las siguientes ventajas:

- Mayor facilidad en la conducción de la instalación, a través de un acceso homogéneo a la información (alarmas, históricos, tendencias, etc.) y mediante unos protocolos de actuación homogéneos.
- Mayor seguridad: Almacenamiento seguro de la información, actuaciones ante eventualidades especiales, gestión correcta de alarmas, etc.
- Mayor control de la interacción entre procesos, por ejemplo, en la gestión de la secuencia de enfriadoras, mediante el análisis de los puntos de funcionamiento óptimos de las máquinas, para posicionar en cada momento la instalación al completo en el punto de mayor rendimiento.

Gestión de la energía

Este es el objetivo que se espera conseguir mediante la implantación de un sistema VPF. Para asegurar su éxito y ratificar los resultados, se necesita en términos generales un Sistema de Gestión capaz de:

- Controlar que cada elemento de la instalación trabaje en el punto de su máximo rendimiento.
- Controlar que el funcionamiento se da durante el tiempo que sea preciso.
- Gestión global de consumos del conjunto de la instalación, optimizando arranques y paradas de equipos.
- Auditoria de eficiencia de funcionamiento de los equipos, demostrando con ella los ahorros prometidos al usuario.

Gestión del mantenimiento y conducción de la instalación

Encaminado a la reducción de paradas de la instalación no programadas, reducción de los costes de mantenimiento y operación, extensión de la vida de los equipos, etc.

El éxito de una instalación VPF radica en hacer una cuidadosa coordinación de todos los elementos de la instalación de HVAC, desde las unidades terminales a sus válvulas de 2 vías, así como de las bombas y enfriadoras.

CAPITULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO

Para comenzar a realizar levantamientos, estudios o auditorías energéticas en cualquier tipo de inmueble o industria como primera medida se hace prioritario, además de recomendable, conocer previamente el giro del inmueble que se someterá a estudio con el fin de comenzar a trazar un plan de estudio. Esto es conveniente en temas de optimización de tiempo y recursos; otro factor importante es solicitar información previa que se crea conveniente al responsable del sitio a evaluar, ya sea inventario de equipos, facturas energéticas, planos *as built* o informes de sistemas de medición si se llega a tener en el inmueble.

Para el caso concreto de una tienda departamental tomando como referencia la literatura aplicable (ver bibliografía) y el conocimiento *a priori*, se consideran 4 sistemas principalmente como los mayores consumidores potenciales de energéticos en la tienda los cuales son:

- Sistema de iluminación.
- Sistema de Climatización.
- Equipos de fuerza.
- Misceláneos.

Además de la visualización de estos sistemas también se tiene otros sistemas como agua caliente, plantas de emergencia y equipo de cocina que en principio se descartarán del estudio energético, aunque esto se tiene que solventar y corroborar mediante las auditorías energéticas o algún tipo de medición.

Teniendo esta información en panorama se hace un primer levantamiento a sitio para conocer todos los sistemas que se tienen en tienda, además de descartar o excluir sistemas que no cuentan con la información; además en este punto y en materia general se solicita información de operación y de consumo al responsable encargado de tienda, se comenta y se hace concientización sobre el proyecto que se desea implementar de ser necesario y primordialmente se hace la identificación y discriminación de los mayores potenciales de ahorro energético y mayores usos significativos de energía (USEs).

Del levantamiento realizado se corroboró que los usos significativos de la energía y los mayores potenciales de ahorro se encontraron en los 4 sistemas potenciales descritos previamente, cabe la aclaración que este comportamiento no siempre se cumple pues en muchas industrias los mayores potenciales de ahorro energético no se encuentran en los mayores consumidores del mismo. La determinación de

que estos dos sistemas son los mayores potenciales de ahorro se basó en los siguientes argumentos.

- Iluminación: haciendo el recorrido en piso de ventas y bodegas se identificó tecnologías del tipo fluorescente y aditivos metálicos, mismas que ya son reemplazables por tecnología LED, además, considerando que son 4 pisos de venta y con aproximado 10,000 lámparas con potencias entre los 32W a 65W cada una y con un horario de operación de 4015 horas/año se hace imperativo conocer el consumo de este sistema y su injerencia sobre el total.
- Climatización: En la tienda que está sujeta a estudio la climatización se hace mediante generadores de agua helada (GAH) y se distribuye mediante unidades manejadoras de agua helada, la tienda en total tiene 3 generadores de agua helada de 330 toneladas de refrigeración marca YORK con 15 años de ambigüedad, además cuenta con 16 unidades manejadoras de aire (UMAs) de capacidades que van desde los 75 a los 94 Toneladas de refrigeración. Aunado a esto, en el sistema se tiene cuatro bombas de 75 HP, además de dos unidades paquetes. Se hace relevante este sistema para estudio porque en primera instancia los GAH son unidades de muchos años de operación siendo susceptibles a renovación tecnológica no solamente por cuestiones de eficiencia sino ambientales (Usan refrigerante R-22 que se considera obsoleto por la cumbre de Montreal), también dicho sistema opera mediante un sistema de caudal constante y las UMAs y bombas no cuentan con variadores de frecuencia; considerando que este sistema tiene una operación de 4620 horas/año además de las capacidades en potencia se cataloga como USEs con potencial de ahorro.

Una vez obtenida la información previa, se genera un programa de medición para conocer el consumo total de la tienda y el consumo específico por sistema, en este punto es importante detallar y aclarar el alcance de la medición. Los niveles de auditoría se separan entre la profundidad de investigación además del tiempo de monitoreo y medición, y es que la medición es uno de los rubros más costosos en este punto del estudio, pero indudablemente necesario.

Uno de los propósitos de este estudio es encontrar la relación óptima costo beneficio del proceso de medición, principalmente en sitios donde no se tenga un monitoreo constante de estos parámetros en estos sistemas y si se tiene hacer un comparativo con la proyección y la realidad. Dicha proyección en el caso de estudio presentado en este documento se hace mediante la medición de una semana en los diferentes sistemas con un analizador de redes eléctricas para conocer consumo y potencia principalmente; se hace uso de otros instrumentos de medición como son termómetros, pirómetros, manómetros, luxómetro; pero son

especialmente en situaciones puntuales que sirven para conocer parámetros específicos.

CONSUMOS ELÉCTRICOS DE LA TIENDA.

Como primer paso se tiene que realizar una línea base de consumo energético de la tienda como mínimo de un año, esta línea se puede obtener a partir de diferentes tipos de medición, pero una muy válida, acertada y común es mediante la facturación del suministrador del servicio eléctrico, para el caso específico se tiene generó una línea de base en el periodo comprendido de octubre del 2017 a octubre del 2018

TIENDA DEPARTAMENTAL												
FACTURA REFERENCIA	DE											
Concepto	oct-17	nov-17	dic-17	ene-18	feb-18	mar-18	abr-18	may-18	jun-18	jul-18	ago-18	sep-18
kWh Base	84,840	91,655	91,655	74,647	89,012	101,331	107,539	107,031	92,666	107,912	95,030	112,440
kWh Intermedia	425,000	292,821	292,821	269,615	285,981	380,182	434,667	477,142	457,847	457,224	452,103	442,915
kWh Punta	70,620	84,693	84,693	79,781	78,342	98,668	30,763	37,576	33,056	34,639	34,580	31,103
Consumo total Energía kWh	580,460	469,169	469,169	424,043	453,335	580,181	572,969	621,749	583,569	599,775	581,713	586,458
kW Base	1,140	1,478	1,478	1,375	1,642	1,695	1,821	1,711	1,831	1,867	1,705	1,276
kW Intermedia	1,164	1,757	1,757	1,368	1,693	1,802	1,832	1,952	1,962	1,756	1,650	1,275
kW Punta	1,128	1,473	1,473	1,305	1,599	1,629	1,637	1,820	1,827	1,597	1,401	1,111

Tabla 2.1 Historial de consumo tienda departamental

Fuente: Elaboración propia a partir de la información proporcionada

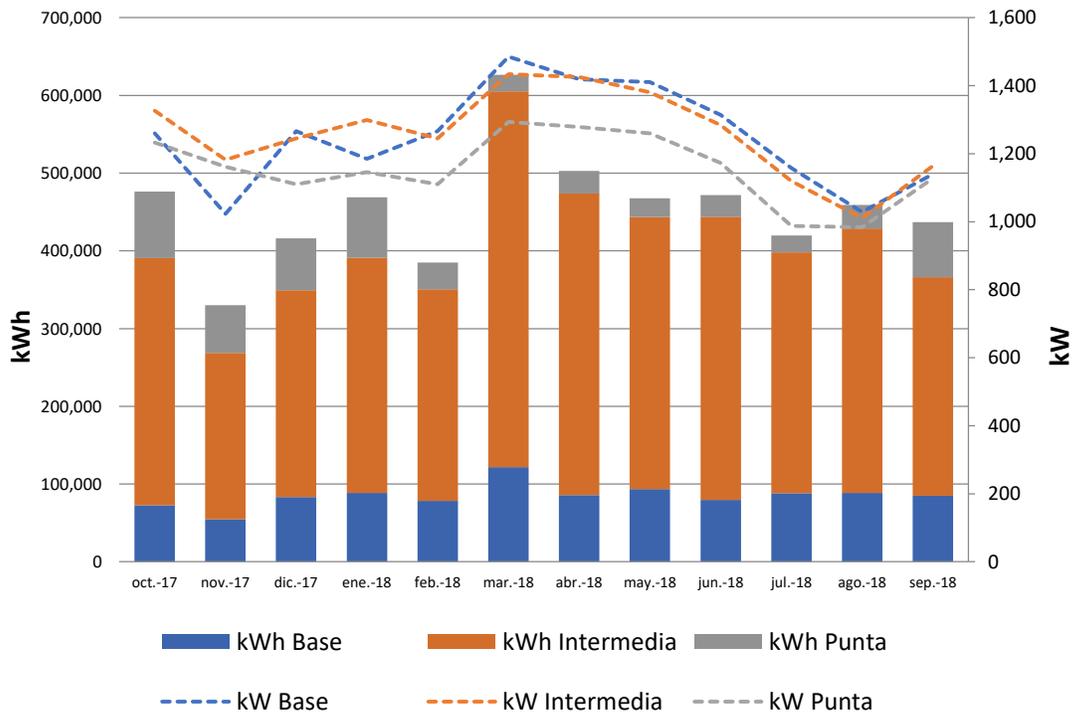


Gráfico 2.1. Comportamiento histórico de un año de consumo y demanda en tienda.

Fuente: Elaboración propia a partir de la información proporcionada

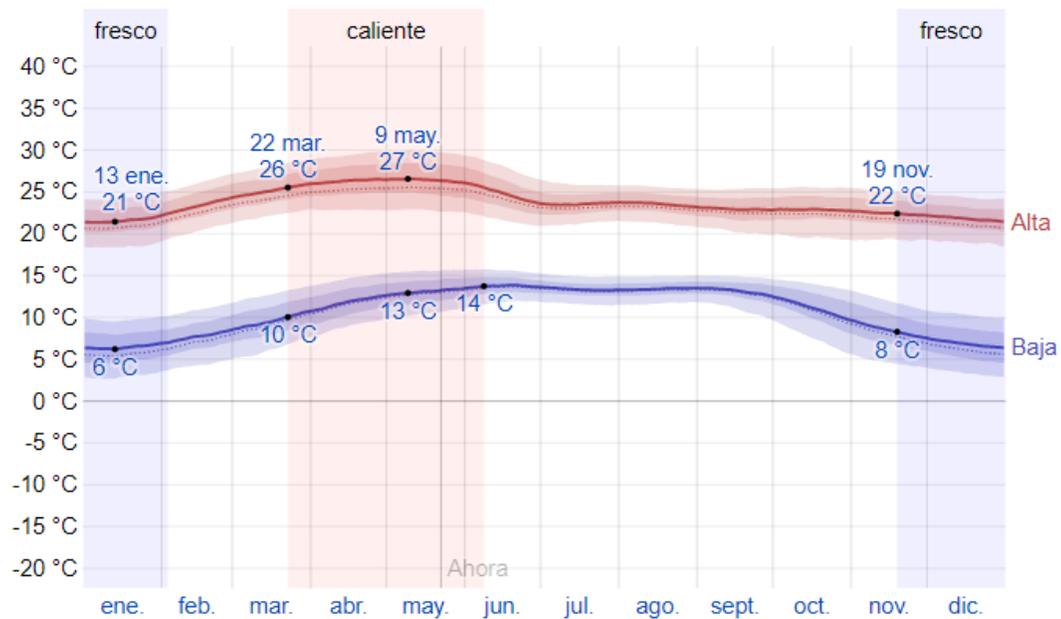
De la Tabla 2.1 y Gráfico 2.1 se observa lo siguiente:

- El consumo total de la tienda durante el periodo de un año es de 6, 522,590 kWh/año.
- La tienda tiene un contrato con el suministrador de energía eléctrica con una tarifa horaria (la demanda y consumo tienen diferentes precios según la hora del día), siendo el mayor consumo en periodo de intermedia

Tabla 2.2 Consumo eléctrico anual de tienda

Consumo total	kWh/año
Horario Base	1,155,758.00
Horario intermedio	4,668,318.00
Horario punta	698,514.00
Total	6,522,590.00

- La tienda presenta un mayor consumo eléctrico en los periodos comprendidos de marzo a septiembre y un menor consumo en los meses de octubre a febrero; en los meses donde se presenta el mayor consumo eléctrico son los que presenta la mayor temperatura promedio la ciudad de México, y los de menor consumo con la menor temperatura promedio de la ciudad. Esto ingiere en primera instancia que el consumo está relacionado con la temperatura y el sistema en el cual la temperatura es una variable relevante es en climatización



La temperatura máxima (línea roja) y la temperatura mínima (línea azul) promedio diaria con las bandas de los percentiles 25° a 75°, y 10° a 90°. Las líneas delgadas punteadas son las temperaturas promedio percibidas correspondientes.

Figura 2.2 Historial de temperatura máxima y mínima de la Ciudad de México Fuente INEGI

NOTA: Conocer el historial de temperaturas como lo muestra el gráfico 2.2 es importante en temas de climatización principalmente a la hora de diseño, en cuestiones de operación y reingeniería (como es el caso de estudio), además permite identificar la cantidad de carga térmica que va a ser susceptible el inmueble por cuestiones climatológicas y para así discrepar si está interviene como una variable relevante en la carga operativa que va a tener el sistema de climatización a lo largo del año.

- En el consumo promedio en horario base es de 96,313 kWh/mes este consumo se presenta en horarios donde la tienda no tiene operación por lo cual se considera que este consumo viene de cargas estáticas

Tabla 2.3 Consumo eléctrico mensual según horario tarifario

Consumo Horario	Promedio kWh/mes	Porcentual
Base	96,313	18%
Intermedia	389,027	72%
Punta	58,210	10%
Total	543,549	100%

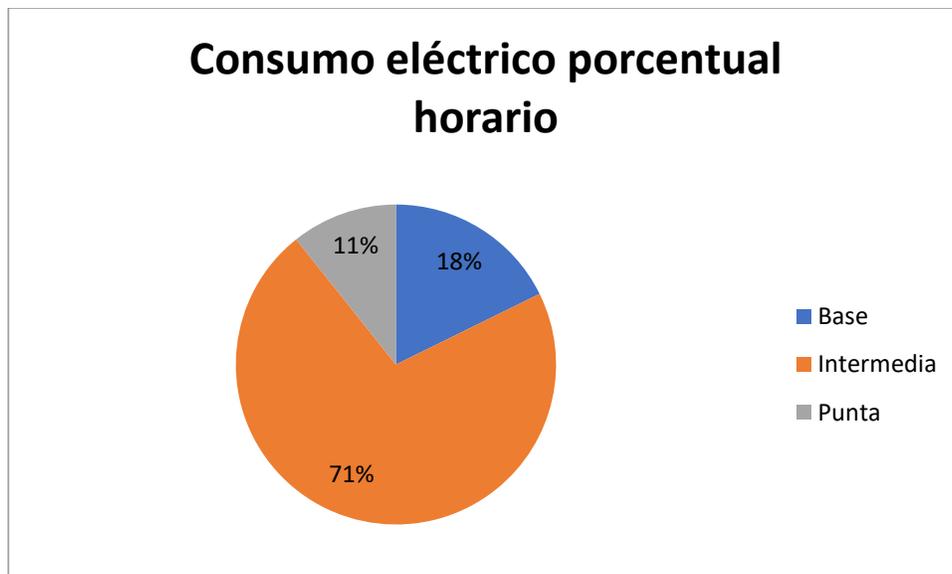


Gráfico 2.3 Distribución de consumo por horario tarifario.

A partir del gráfico 2.3 se determina que el mayor consumo viene en el horario intermedio, lo cual hace sentido al ser el horario de mayor rango a lo largo de la semana (determinado por el suministrador de energía eléctrica). Para el análisis energético que se realizará esto cobra importancia dado que determinará principalmente el precio de la energía integrado con el cual se harán los ahorros económicos a partir de los ahorros energéticos estimados.

Cabe resaltar que los parámetros eléctricos con los cuales se hace el cobro de la facturación eléctrica son la demanda y demanda máxima eléctrica, el consumo eléctrico y el factor de potencial siendo este último un parámetro que no entra en el alcance de estudio

INVENTARIOS DE EQUIPOS

A raíz de un segundo recorrido más detallado se tiene la siguiente cantidad de equipos y detalles de los mismos.

Iluminación

Tabla 2.4 Cantidad, potencia y consumo del sistema de iluminación susceptible a cambio

Tipo de Luminaria	Cantidad	Potencia	Cantidad gabinete por	W	kW	kWh/año
PL-C Fluorescente	3650	32	2	233,600.00	233.60	937,904.00
PL-L Fluorescente	528	40	2	42,240.00	42.24	169,593.60
Halógeno	358	35	1	12,530.00	12.53	50,307.95
T8 Fluorescente	653	32	2	41,792.00	41.79	167,794.88
TOTAL	5,189.00			330,162.00	330.16	1,325,600.43

Los consumos presentados en la tabla 2.4 corresponden a un 22% del consumo total de la línea base, pero es importante destacar que dentro de la tabla se presentan únicamente las luminarias que son susceptibles a una renovación tecnológica.

Actualmente la tienda viene implementando un cambio progresivo en las luminarias instaladas en tienda por unas de tecnología LED, dichas luminarias no se toman en consideración dado que actualmente no se cuenta con una tecnología que sea viable en costo/beneficio para su sustitución.

Dichos consumos son obtenidos a partir de datos de placa, y con una operación anual de 4015 horas/año. La tienda cuenta con un monitoreo en tiempo real SEMHUNT que nos permite hacer una comparativa del consumo del teórico y el real de este sistema.

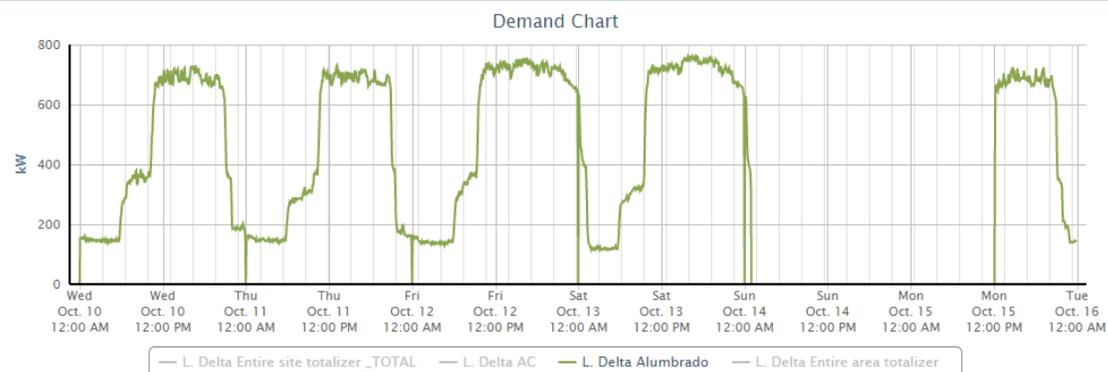


Gráfico 2.4 Historial de consumo semanal sistema de iluminación

En el gráfico 2.4 se destaca que la cantidad de luminarias a cambiar corresponde a prácticamente la mitad del total de sistema de iluminación, esta información

corroborar a lo obtenido en el levantamiento físico donde se descartó un gran porcentaje de la iluminación por no ser viable para sustitución tecnológica.

Cabe detallar que en el levantamiento se identificó que el medidor instalado toma lecturas también de los equipos de fuerza (transporte vertical) y misceláneos dado que vienen derivados del mismo tablero general, por lo cual, el consumo a trabajar es a partir de los datos de placa y las horas de operación. Estos consumos se descartaron al no considerarse con potencial de ahorro energético.

En el mismo gráfico se evidencian otros dos comportamientos que son resaltables, el primero es que el sistema de iluminación (como marca SEMHUNT) lleva un patrón de operación repetitivo día con día, siendo en las primeras horas del día en que se activa un encendido parcial para cuestiones de limpieza, operación y mantenimiento para posteriormente un encendido total del sistema. El segundo comportamiento destacable es el problema en la toma de lecturas que da el sistema SEMHUNT, teniendo lecturas de demanda cero el 14 y 15 de octubre del 2018 siendo esto imposible por la operación presentada en tienda dichos días (a comentarios del personal de tienda).

Climatización

La tienda analizada cuenta con tres generadores de agua helada marca york modelos YCAS0330EC46YGAMBT con las siguientes características según ficha técnica

- Base Product Type: Chiller marca york enfriado por aire con compresores tipo tornillo
- Capacidad nominal: 330 Toneladas de refrigeración.
- Unit Designator: Alta eficiencia
- Voltage: 460V/3H/60Hz
- Starter: Wye Delta.
- Design: Design Series G
- Development: Engineering Change or PIN level.

4 motores para bombeo de agua helada:

- Marca: Siemens
- Tipo: RGZE
- Potencia nominal: 75 hp/55,95kW
- Voltaje: 220DD/440D
- Amperaje: 173.0/86.5
- Eficiencia nominal: 94.1%

- FS: 1.25

16 unidades manejadoras de agua helada:

- 8 unidades modelo XTO-102X102-DDLK046A para uso exterior con capacidad de refrigeración de 74.55 Toneladas y con motor de inyección de 15 HP y retorno de 10 HP
- 4 unidades modelo XTO-108X108-DDLK046A para uso exterior con capacidad de refrigeración de 82.22 Toneladas y con motor de inyección de 15 HP y retorno de 10 HP
- 4 unidades modelo XTO-114X144-DDMK046A para uso exterior con capacidad de refrigeración de 93.22 Toneladas y con motor de inyección de 20 HP y retorno de 10 HP

Unidades paquetes y minisplit (ver Anexo) no se consideran en el estudio, dado que son equipos cuya mejora en eficiencia energética viene por una renovación tecnológica y que su consumo no tiene un impacto importante en el consumo total por lo cual no tiene injerencia en la relación costo/beneficio

Además, la tienda cuenta con un sistema centralizado de monitoreo y control METASYS para el todo el sistema de agua helada, dicho sistema permite monitorear y controlar las principales variables de los equipos como también ajustar parámetros de operación.

Para conocer el consumo eléctrico real de los GAH se hizo la instalación de un analizador de redes marca Fluke 435 en tablero eléctrico principal de dichos equipos. En este punto es donde se resalta la priorización del estudio en el uso de recursos para la auditoría energética, dado que solo se pueden obtener datos de una semana de medición debido al costo de tener midiendo constante un analizador de redes en sitio los diferentes sistemas.

Se seleccionaron los GAH como los objetivos a medir debido a la capacidad de consumo eléctrico que se tiene a partir de los datos de placas, esta decisión se tomó a partir de los primeros levantamientos realizados. Además, que para la instalación de los mismo se tienen que obtener permisos por parte de la tienda al ser maniobras de alto riesgo por la naturaleza misma del equipo y la responsabilidad que adquiere la misma tienda al tener en resguardo dicho equipo durante el tiempo de medición; dicho esto se obtuvieron los siguientes datos:

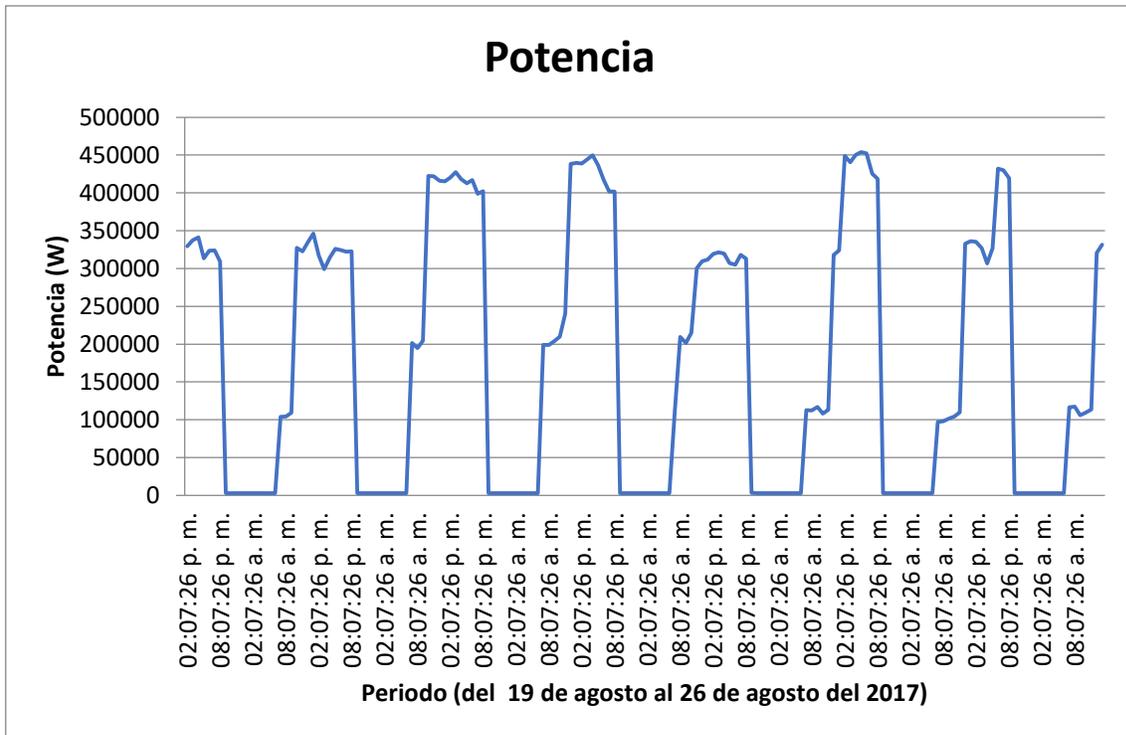


Gráfico 2.5. Historial de potencia registrado en GAH.

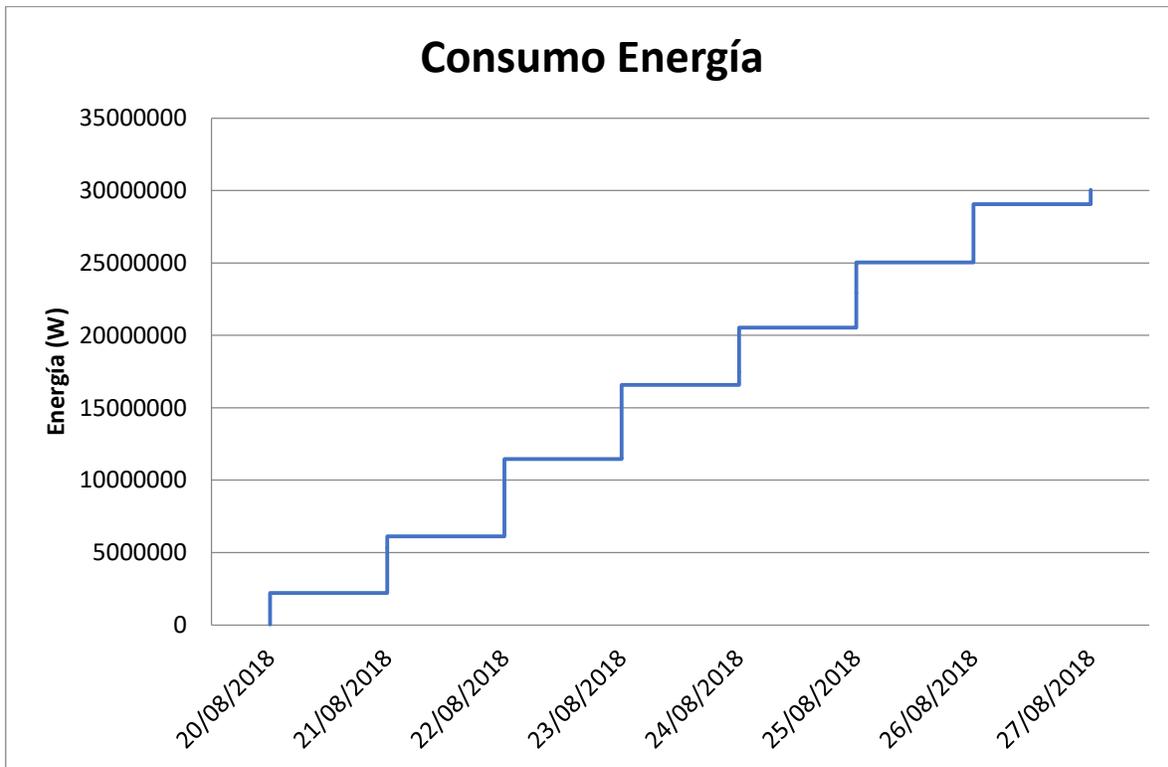


Gráfico 2.5. Historial de consumo registrado en GAH.

A partir de las gráficas de potencia y energía se denota que los consumos siguen un patrón diario con operación de entre 13 y 14 horas diarias, teniendo demandas máximas de 450 kW para las mediciones de este periodo.

Los valores de demanda y consumo eléctrico son de especial relevancia para conocer el coeficiente de operación COP de las maquinas que tienen actualmente, dado que por la misma antigüedad de los equipos y los mantenimientos preventivos y correctivos que se han llevado a cabo los GAH de agua helada no operan bajo la misma eficiencia que marca el fabricante en sus fichas técnicas.

Paralelamente se tomaron mediciones puntuales en los tableros de las UMAs y bombas de agua helada, estas mediciones se hicieron para tener una referencia de consumo, pero no se deben de tomar como valores totalmente acercados a la realidad debido a que no representan una medición en el tiempo y es imposible determinar si corresponde a un consumo promedio de operación.

Tabla 2.5 Mediciones instantáneas de UMAs y bombas

Unidades Manejadoras de Aire									
Voltaje							Amperaje		
UMA	L1L2	L1L3	L3L2	L1N	L2N	L3N	L1	L2	L3
1	476	478	477	276	275	276	21.5	18.84	21.88
2	477	478	476	276	274.7	276	22.8	19	19.6
3	476	478	475	276.6	275	275.8	19.38	20.7	22.5
4	477	478	476	276.6	275	275.4	12.75	13.4	15.5
5	477	478	476	276.6	275	275.4	20.1	16.73	18.82
6	477	478	476	275.3	274.3	275.4	19.22	22.16	20.55
7	477	478	476	275.3	274.3	275.4	18.74	22.26	20.39
8	477	478	476	276	274.8	275.1	21.78	20.2	18.61
9	477	478	476	275	275	274.6	22.02	18.7	19.21
10	477	478	476	276.1	273.8	275.8	18.6	21.17	21.2
11	477	478	476	275.1	274.2	275.2	19.68	22.14	18.45
12	477	478	476	276	276.2	275.8	22.28	18.63	17.9
13	477	478	476	276.6	274.8	276	27.73	27.17	25.64
14	477	478	476	276.8	274.3	274.6	15.2	12.7	14.8
15	477	478	476	276.8	274.3	274.6	25.3	25.7	26.39
16	477	478	476	276.8	274.3	275.1	14.64	12.38	14.68
Bomba agua helada									
Voltaje							Amperaje		
Bomba	L1L2	L1L3	L3L2	L1N	L2N	L3N	L1	L2	L3
1	477.2	478	477.2	276	275	275	73.7	71.7	73.6
2	477.2	478	477.2	276	275	275	0.16	0.38	0.32
3	477.2	478	477.2	276	275	275	72.66	70	72.5
4	477.2	478	477.2	276	275	275	0.16	0.38	0.32

Sin embargo, la tabla 2.5 muestra comportamientos que son rescatables los cuales se enlistan a continuación

- No existe un desbalanceo considerable en tensión en el suministro eléctrico que afecte la operación de los motores.
- Los valores de corriente y tensión tienen correlación con los datos de placa si considera un factor de potencia de 0.85 y eficiencia del 92% según fabricante en la ecuación 3

$$Potencia = \sqrt{3} * V_n * I_n * \frac{FP}{\eta} \text{ (B)}$$

Donde

$$V_n = \text{Voltaje total}$$

$$I_n = \text{Amperaje total}$$

$$FP = \text{factor de potencia}$$

$$\eta = \text{eficiencia de flecha del motor}$$

- Sólo operan dos bombas de agua helada debido a que casi la totalidad del año operan dos GAH siendo estos suficientes para abatir la carga térmica de la tienda, esto ocurre desde la concepción del diseño del sistema dado que por los mismos requisitos de tienda y por seguridad operativa uno de los GAH funge como cubre puntas de carga térmicas en casos extremos o como respaldo ante fallo de algún otro GAH.

CÁLCULOS Y PROPUESTAS DE AHORRO ENERGÉTICO SEGÚN OPERACIÓN

Iluminación

Para la iluminación que se tiene instalada se propone reemplazo de luminarias uno a uno con tecnología LED de menor potencia, se conserva el mismo gabinete y balastro (cuando aplique) para reducción de costo.

Tabla 2.6 Luminarias propuestas (ficha técnica Anexos)

Tipo de Luminaria	Cantidad	Potencia	Cantidad por gabinete	Potencia W	Potencia kW	kWh/año
10.5PL-C/T LED/26V-4000 IF 4P 10/1	3650	10.5	2	76,650	76.65	307,750
16.5PL-LED/24-4000 IF 10/1	528	16.5	2	17,424	17.42	69,957.36
ESS LED MR16 3-35W 36D 830 100-240V	358	3.5	1	1,253.	1.25	5,030.80
T8 LED	653	18	1	11,754	11.75	47,192.31
TOTAL	5,189.00				107.08	429,930.22

Se hace la propuesta de este tipo de reemplazo porque en términos de instalación es la más recomendable por cuestión de costos con respecto a tecnologías que requieren un reemplazo total de gabinete, además de que cumple con los parámetros lumínicos como son temperatura de color, flujo luminoso y deslumbramiento estrambótico

También ayuda a mejorar a mejorar los niveles de densidad de potencia eléctrica para alumbrado (DPEA) descritos en la norma NOM-007-ENER-2014, mismos que no se consideran en medición debido al alcance del estudio.

Comparando los resultados de las tablas 2.4 y 2.6 se tiene lo siguiente:

Tabla 2.7 Ahorros en consumo eléctrico por cambio de lámparas

Operación Actual		Operación Nueva	
kWh/año	1,325,600	kWh/año	429,930

Fuente: Elaboración propia

De la tabla 2.7 se proyectan ahorros energéticos por 895,670 kWh/año que corresponde a un 67% de la operación actual de las lámparas que están operación, satisfaciendo las mismas necesidades operativas actuales. Las relaciones económicas de inversión, ahorros económicos y tiempos de retorno se detallan en el capítulo **finanzas del proyecto**.

Climatización

En el sistema de climatización se hace el mayor detalle de las propuestas de ahorro energético, mismas de desglosaran en las siguientes:

- Operación con caudal variable.
- Instalación de variadores de frecuencia en bombas y UMAs.
- Renovación de GAH.

Sustitución tecnológica GAH.

Uno de los ahorros energéticos seguros es la renovación de los generadores de agua helada por unos de mayor eficiencia y con refrigerante ecológico (R410 por ejemplo), esto por el tiempo de vida de los actualmente instalados y los avances de la industria relacionada. Es importante recalcar que de los 3 chillers que se tienen actualmente instalados uno de ellos funciona como cubre punta; mismo que su operación es poca.

Existen varios factores para considerar la renovación tecnológica como un punto importante como ahorro energético, uno de ellos es instalar equipos con compresor de tornillo magnético los cuales operan tipo inverter y tienen una mayor eficiencia de refrigeración a comparación de la tecnología de hace 15 años (año de fabricación de los equipos actuales): También se debe de considerar que el

refrigerante que operan actualmente es el R-22 mismo que está destinado a salir de uso comercial por convenio internacional.

Algo notable de la información de las auditorias es que el equipo cubre puntas su operación es totalmente nula, lo que da pie a inferir que la selección y capacidad de los equipos al momento de la construcción de la tienda fue sobredimensionado (la selección, dimensionado y capacidad correcta de la tienda esta fuera del alcance de estudio de este documento por su viabilidad técnica y económica).

Consumo actual por GAH:

Del tablero de control de los GAH y del sistema de control Metasys se conoce que los parámetros de operación programados en los equipos son los siguientes:

- Temperatura de Set Point = 5 °C
- Temperatura Agua de Salida = 8 °C
- Temperatura Agua de Entrada = 11.5 °C
- Capacidad Máxima = 330 Toneladas de refrigeración (1158 kW frigoríficos)

MODEL: YCAS0330EC

LCWT (°C)	AIR TEMPERATURE ON - CONDENSER (°C)																	
	25.0			30.0			35.0			40.0			45.0			50.0		
	KW	KW	COP	KW	KW	COP	KW	KW	COP	KW	KW	COP	KW	KW	COP	KW	KW	COP
5.0	1133.6	265.9	3.9	1092.9	304.7	3.3	1059.3	349.4	2.8	1032.2	400.3	2.4	990.7	444.2	2.1	795.8	399.1	1.9
6.0	1168.2	268.5	4.0	1123.1	307.3	3.4	1089.2	352.7	2.9	1060.7	404.2	2.5	1014.6	446.6	2.2	800.2	393.7	1.9
7.0	1203.0	271.0	4.1	1154.8	310.0	3.4	1119.9	356.0	2.9	1090.0	408.2	2.5	1036.3	447.4	2.2	806.4	389.1	2.0
8.0	1237.0	273.4	4.1	1189.5	312.9	3.5	1150.9	359.2	3.0	1119.8	412.1	2.6	1053.9	445.6	2.2	812.1	384.4	2.0
9.0	1272.4	275.7	4.2	1223.0	315.6	3.6	1182.8	362.4	3.1	1150.3	416.1	2.6	1070.3	443.1	2.3	817.3	379.4	2.0
10.0	1308.5	278.0	4.3	1257.2	318.3	3.7	1215.3	365.6	3.1	1179.5	419.1	2.7	1088.1	441.1	2.3	823.5	374.9	2.1
11.0	1345.2	280.3	4.4	1292.0	321.0	3.7	1248.4	368.8	3.2	1206.6	421.3	2.7	1105.7	439.1	2.4	829.7	370.4	2.1
12.0	1382.5	282.6	4.5	1327.5	323.7	3.8	1282.2	372.1	3.2	1236.2	423.7	2.8	1123.8	437.1	2.4	835.8	366.0	2.1
13.0	1420.4	284.9	4.6	1363.6	326.4	3.9	1316.5	375.5	3.3	1267.8	426.0	2.8	1142.0	435.1	2.5	842.0	361.5	2.2

Figura 2.1 Valores de COP según condiciones ambientales de operación para GAH

Para el caso de estudio se toma un valor de LCWT (*low condenser water temperatura*) de 6 °C a temperatura ambiente de 25 °C teniendo un COP teórico de 4, esta temperatura de 25°C es la más aproximada a la temperatura promedio anual de la Ciudad de México de 18 °C.

Para conocer el estado actual de los equipos y compararlos con los nuevos que se proponen reemplazar se hace uso de las siguientes expresiones

$$COP = \frac{kW_f}{kW_e} \quad (4)$$

$$kW_e = \frac{kW_f}{COP} \quad (4.1)$$

De los datos medidos se sabe que dos de los GAH estuvieron al 92 % (datos de Metasys) de capacidad y uno apagado por lo cual.

- Consumo total = 2,299,550 kWh/año
- Consumo por equipo = 1,073,100 kWh/año.

Potencia térmica por equipo promedio al 92% = 325 kW (datos de Metasys)

Teóricamente se tendría que:

- Capacidad al 92% = $330 \times 0.92 = 303 \text{ Tr} = 1063 \text{ kWf (4.2)}$

Reemplazo en la ecuación 4.2 en la ecuación 4.1 con el COP teórico de 4 se tiene:

$$kW_e = \frac{1063}{4}$$

$$kW_e = 265 \text{ kW}$$

Es decir que teóricamente a partir de datos de placa y con las condiciones de operación mostradas según el fabricante cada GAH tendría que consumir 265 kW eléctricos para suplir dicha carga térmica; a partir de mediciones se observó que en operación el equipo consume 325 kW horas, es decir que se ha tenido una disminución en su eficiencia del 20% aproximadamente, para conocer los potenciales ahorros energéticos comparado con un equipo nuevo obtenemos el COP de los equipos actualmente.

$$COP = \frac{1063}{325}$$

$$COP_{ea} = 3.2$$

Para la mejora en el desempeño energético se propone la instalación de un chiller nuevo marca DAIKIN enfriado por aire y compresor de tornillo magnético (ficha técnica ANEXO) con un COP de 5.3, siendo así se tienen los siguientes escenarios

Tabla 2.8 Parámetros operativos de GAH

Parámetro	Valor
Horas de operación	5,110
TR GAH viejo	330
TR GAH nuevo	330
COP GAH viejo	3.2
COP GAH nuevo	5.3

Fuente: Elaboración propia

Teniendo estos valores se hace una proyección de consumo y carga diaria de los equipos nuevos y viejos, esto con la finalidad de que si se tiene el porcentaje de carga diarios se pueda tener un cálculo más preciso, para este caso solo se

conoce las horas operativas al año y la carga promedio anual de los equipos (63%)

Tabla 2.8 Perfil de carga y consumo GAH viejos

CHILLERS 330 TR				
Fecha	1	2	3	TR
día 1	100%	50%	0%	496
día 2	100%	23%	0%	406
día 3	100%	23%	0%	406
día 4	100%	23%	0%	406
día 5	100%	23%	0%	406
día 6	100%	23%	0%	406
día 7	100%	23%	0%	406
día 8	100%	23%	0%	406
día 9	100%	23%	0%	406
día 10	100%	23%	0%	406
día 11	100%	23%	0%	406
día 12	100%	23%	0%	406
día 13	100%	23%	0%	406
día 14	100%	23%	0%	406
día 15	100%	23%	0%	406
día 16	100%	23%	0%	406
día 17	100%	23%	0%	406
día 18	100%	23%	0%	406
día 19	100%	23%	0%	406
día 20	100%	23%	0%	406
día 21	100%	23%	0%	406
día 22	100%	23%	0%	406
día 23	100%	23%	0%	406
día 24	100%	23%	0%	406
día 25	100%	23%	0%	406
día 26	100%	23%	0%	406
día 27	100%	23%	0%	406
día 28	100%	23%	0%	406
EQUIPOS VIEJOS	Promedio, TR			409
	Potencia, kW			450
	Horas de operación			5,110
	Consumo energía eléctrica, kWh			2,299,552

Tabla 2.9 Perfil de carga y consumo GAH nuevos

CHILLERS 330 TR				
Fecha	CHILLER 1	CHILLER 2	CHILLER	TR
día 1	100%	50%	0%	496
día 2	100%	23%	0%	406
día 3	100%	23%	0%	406
día 4	100%	23%	0%	406
día 5	100%	23%	0%	406
día 6	100%	23%	0%	406
día 7	100%	23%	0%	406
día 8	100%	23%	0%	406
día 9	100%	23%	0%	406
día 10	100%	23%	0%	406
día 11	100%	23%	0%	406
día 12	100%	23%	0%	406
día 13	100%	23%	0%	406
día 14	100%	23%	0%	406
día 15	100%	23%	0%	406
día 16	100%	23%	0%	406
día 17	100%	23%	0%	406
día 18	100%	23%	0%	406
día 19	100%	23%	0%	406
día 20	100%	23%	0%	406
día 21	100%	23%	0%	406
día 22	100%	23%	0%	406
día 23	100%	23%	0%	406
día 24	100%	23%	0%	406
día 25	100%	23%	0%	406
día 26	100%	23%	0%	406
día 27	100%	23%	0%	406
día 28	100%	23%	0%	406
EQUIPOS NUEVOS	Promedio TR			409
	Potencia kWe			272
	Horas de operación			5,110
	Consumo energía eléctrica kWh			1,388,409

Tabla 2.10 Comparativo de consumos entre GAH

Consumo Anual		
GAH viejos	2,299,552	kWh
GAH nuevos	1,388,409	kWh
Diferencial	911,143	kWh

De la tabla 2.10 se tienen que hacer las siguientes consideraciones y aclaraciones, las tablas 2.8 y 2.9 mostraban un comportamiento de los 3 GAH en porcentaje de carga, actualmente es imposible obtener la información del perfil de carga diario de cada uno de los GAH durante el año, por lo cual se estable como objetivo el consumo proyectado total de los GAH de 2,299,550 kWh/año.

En las tablas 2.8 y 2.9 se hace una aproximación del perfil diario de carga de cada GAH durante 28 días al mes durante 5110 horas al año, considerando que se tiene el GAH 3 como cubre puntas. Siguiendo ese mismo comportamiento y con el COP de los equipos nuevos se tiene un consumo de 1,388,409 kWh/año teniendo una diferencia al año en consumo de 911,143 kWh/año.

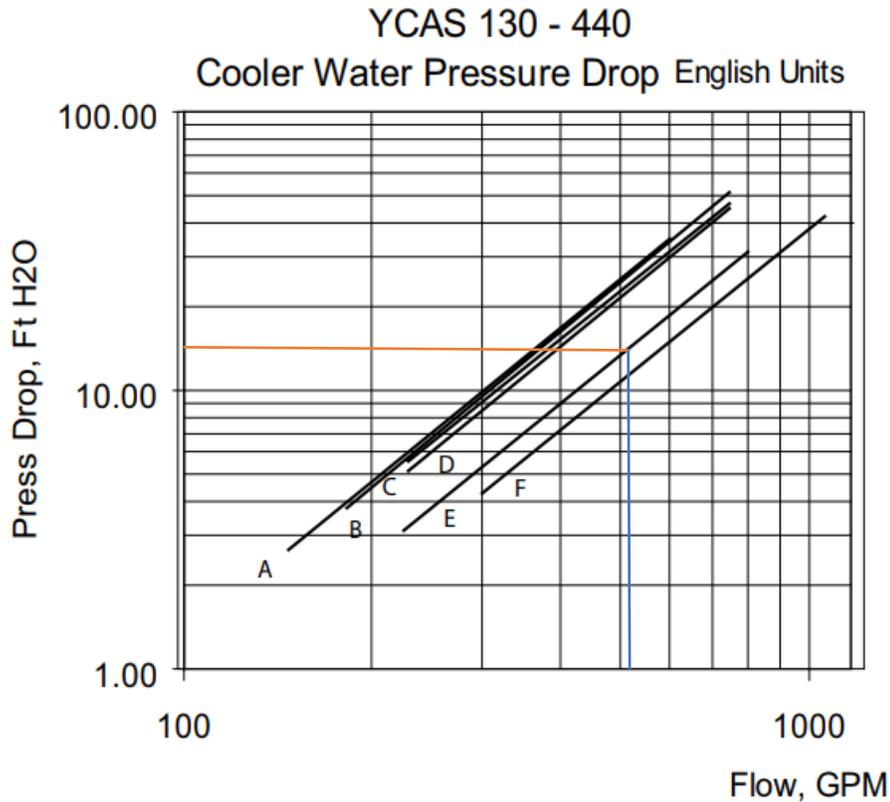
Estos ahorros energéticos corresponden al 40% de ahorro en el consumo de los generadores de agua helada, independientemente del perfil de carga que se maneje.

Caudal Variable

Para conocer los ahorros en el sistema hidráulico por el caudal se tomaron lecturas de la presión en la succión y la inyección de los generadores de agua helada, para así, con la caída de presión conocer cuánto caudal circula por GAH.

La forma de conocer el caudal en sistema HVAC cerrado comúnmente es mediante la ficha técnica de los GAH donde los fabricantes hacen una relación entre el caudal y la caída de presión, este tipo de relación es útil dado que la instalación de un caudalímetro es demasiado costosa en comparación con manómetros.

Para el caso de estudio existía la posibilidad de usar un medidor de flujo ultrasónico pero debido a que toda la tubería de distribución se encuentra aislada térmicamente se descartó la idea debido a la complejidad y costo de desnudar la tubería y volver aislar. Para diagnósticos de mayor precisión se hace recomendable el uso de caudalímetros o medidores de flujo ultrasónico y así disminuir la incertidumbre de las mediciones



MODEL NUMBER YCAS	COOLER
0130, 0140	A
0150, 0160, 0170, 0180,	B
0200, 0210,	C
230	D
0250, 0270, 0300, 0330	E
0360, 0400, 0440	F

LD04481

Figura 2.2 Relación caída de presión y caudal en GAH YCAS

De las lecturas tomadas en los manómetros de los GAH se obtuvo una caída de presión de aproximadamente 0.5 kg/cm^2 por GAH, teniendo así un total de 425 GPM por GAH es decir un total de 1275 GPM para el sistema, los cuales se tienen que distribuir en las 16 unidades manejadoras de aire y ser bombeadas por las 3 bombas principales a cada una de ella.

Cabe la aclaración que, aunque uno de los equipos no se encuentre operativo, su evaporador siempre está inundado, es decir que existe caudal dentro del equipo, aunque éste no refrigere dicho flujo.

Sabiendo del levantamiento que las bombas del sistema primario de bombeo operan sin variadores de frecuencia, es decir a su totalidad de potencia nominal y considerando la eficiencia de flecha del motor se tiene un consumo eléctrico estimado descrito en la tabla 2.11

Tabla 2.11 Calculo de consumo en bombeo primario

Bomba	Caudal (gpm)	Potencia (kW)	Consumo eléctrico (kWh/año)
1	425	56	301,221.05
2	425	56	301,221.05
3	425	56	301,221.05
4	No operativa	No operativa	No operativa
Total	1275	168	903,663.15

Haciendo un proceso análogo para las UMAs se tiene que considerar la potencia únicamente del motor de la bomba de inyección dado que en esta se instalará el variador de frecuencia, esto con el fin de evitar problemas de condensación en el retorno y que puedan afectar la electrónica del variador.

Al ser caudal constante se considera que por cada manejadora pasa la misma cantidad de agua y dando como sumatoria 1275 gpm para mantener el equilibrio hidráulico con el bombeo primario, dando como resultados los valores mostrados en la tabla 2.12

Tabla 2.12 Consumo eléctrico inyección manejadoras a caudal constante.

UMAS	Caudal (gpm)	Potencia (kW)	Consumo eléctrico (kWh/año)
1	79.69	11.18	60,109.74
2	79.69	11.18	60,109.74
3	79.69	11.18	60,109.74
4	79.69	11.18	60,109.74
5	79.69	11.18	60,109.74
6	79.69	11.18	60,109.74
7	79.69	11.18	60,109.74
8	79.69	11.18	60,109.74
9	79.69	11.18	60,109.74
10	79.69	11.18	60,109.74
11	79.69	11.18	60,109.74
12	79.69	11.18	60,109.74
13	79.69	14.90	80,146.32
14	79.69	14.90	80,146.32
15	79.69	14.90	80,146.32
16	79.69	14.90	80,146.32
TOTAL	1275	193.70	1,256,293.50

Una de las acciones a seguir para la implementación de un sistema de caudal variable en circuito un hidráulico es la incorporación de variadores de frecuencia

en los sistemas de bombeo, la incorporación de un bypass antes del circuito secundario para compensar la carga hidráulica del sistema y la eliminación de la tercera vía en las UMAs. Para el caso en estudio se contempla la incorporación de variadores de frecuencia en las bombas del sistema secundario futuro y de variadores de frecuencia en la inyección de las UMAs.

Como se ha mencionado a lo largo de este documento las cargas térmicas en los sitios generalmente son variables por lo cual pocas veces se requiere el 100% de la capacidad de los equipos, de este modo se hace el caso de estudio para 75, 50, y 25 por ciento de caudal por la carga requerida por las terminales finales; están en el 75% la mayoría del año.

Para conocer los consumos de las bombas con variadores de frecuencia se hace uso de las leyes de afinidad donde

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (5)$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{N_1^3}{N_2^3} \quad (6)$$

Donde

- Q = Caudal
- N = Velocidad
- P = Potencia

Igualando la ecuación (5) y (6) y despejando para la potencia 2 se tiene la siguiente expresión

$$P_2 = \frac{P_1}{\left(\frac{Q_1}{Q_2}\right)^3} \quad (8)$$

Con la expresión 8 se puede calcular el consumo de los motores a diferentes cargas térmicas, en este punto es donde toma importancia la eliminación de la válvula de tres vías que existe en el caudal constante y la instalación de la válvula de dos vías, evitando que se circule agua helada innecesariamente en las unidades terminales.

También se detalla que para esta propuesta se consideran la instalación de válvulas de dos vías independientes de presión, aclarando que no son obligatorias para el correcto funcionamiento del caudal variable, pero sí que sus beneficios son notorios en el sistema. Estas válvulas como su nombre lo dicen no dependen de la presión para mantener el caudal en la unidad terminal, haciendo que la demanda térmica dependa exclusivamente del salto térmico, además de que mantiene el balanceo del sistema y mantiene la jerarquía de las unidades terminales en el

sistema de control centralizado apoyando a la reducción del consumo eléctrico en el sistema de bombeo en general.

Usando la expresión (8) se tiene obtiene los siguientes resultados para diferentes cargas

Tabla 2.13 Consumo eléctrico UMAs al 75% de carga

UMAS	Caudal (gpm)	Potencia (kW)	Consumo eléctrico (kWh/año)
1	59.77	4.71	25,358.80
2	59.77	4.71	25,358.80
3	59.77	4.71	25,358.80
4	59.77	4.71	25,358.80
5	59.77	4.71	25,358.80
6	59.77	4.71	25,358.80
7	59.77	4.71	25,358.80
8	59.77	4.71	25,358.80
9	59.77	4.71	25,358.80
10	59.77	4.71	25,358.80
11	59.77	4.71	25,358.80
12	59.77	4.71	25,358.80
13	59.77	6.29	33,811.73
14	59.77	6.29	33,811.73
15	59.77	6.29	33,811.73
16	59.77	6.29	33,811.73
TOTAL	956.25	81.72	439,552.45

Tabla 2.14 Consumo eléctrico UMAs al 50% de carga

UMAS	Caudal (gpm)	Potencia (kW)	Consumo eléctrico (kWh/año)
1	39.84	1.40	7,511.60
2	39.84	1.40	7,511.60
3	39.84	1.40	7,511.60
4	39.84	1.40	7,511.60
5	39.84	1.40	7,511.60
6	39.84	1.40	7,511.60
7	39.84	1.40	7,511.60
8	39.84	1.40	7,511.60
9	39.84	1.40	7,511.60
10	39.84	1.40	7,511.60
11	39.84	1.40	7,511.60
12	39.84	1.40	7,511.60
13	39.84	1.86	10,015.46
14	39.84	1.86	10,015.46
15	39.84	1.86	10,015.46

16	39.84	1.86	10,015.46
TOTAL	637.44	24.21	130,200.99

De las tablas 2.14 y 2.13 es necesario aclarar que se considera el mismo flujo para todas unidades terminales, esto en principio no es totalmente correcto en la realidad dado que las UMAs más cercanas a los GAH no requerirá tanto caudal; pero para tener los valores exactos de caudal inicial se obtendrá mediante el balanceo del sistema, después de haber jerarquizado las UMAs y haber realizado la presurización del sistema. Esto se hace en los arranques de los equipos, sin embargo, nos ofrece un acercamiento certero y fiable para la obtención de ahorros energéticos estimados.

Algo importante a destacar, es que el caudal faltante del total para cada caso necesario para el equilibrio hidráulico, circulará por el *by-pass* antes del sistema secundario de bombeo haciendo que se mezcle con el retorno que va a las GAH, esta mezcla hace la temperatura del retorno sea más fría.

En este punto es donde se hace indispensable un sistema de monitoreo robusto en todo el circuito debido a que dicha mezcla puede generar el síndrome de bajo salto térmico, haciendo creer a las GAH que hace falta capacidad térmica para suplir la carga demandada por las unidades terminales y siendo que en la realidad se tiene un caudal demasiado frío para los requerimientos térmicos.

Para las bombas del sistema secundario un variador de frecuencia afecta en el consumo de los motores siguiendo un proceso análogo como en las UMAs, como lo muestra las tablas 2.15 y 2.16

Tabla 2.15 Consumo eléctrico bombeo secundario al 75% de carga

Bomba	Caudal (gpm)	Potencia (kW)	Consumo eléctrico (kWh/año)
1	318.75	23.6	127,077.63
2	318.75	23.6	127,077.63
3	318.75	23.6	127,077.63
4	No operativa		
Total	956.25	70.9	381,232.89

Tabla 2.16 Consumo eléctrico bombeo secundario al 50% de carga

Bomba	Caudal (gpm)	Potencia (kW)	Consumo eléctrico (kWh/año)
1	212.5	7.0	37,652.63
2	212.5	7.0	37,652.63
3	212.5	7.0	37,652.63
4	No operativa		
Total	637.5	21.0	112,957.89

Como se comentó en el capítulo II en el arreglo PSF de caudal variable es necesario la instalación de un grupo de bombas que mantengan el caudal mínimo en cada GAH, para este caso de estudio se requieren 3 bombas de 7.5 HP. Lo que representa el siguiente añadido al sistema como se muestra en la tabla 2.17

Tabla 2.17 Consumo bombas nuevas a caudal constante.

Bomba	Potencia (kW)	Consumo eléctrico (kWh/año)
1	7.5	40,342.11
2	7.5	40,342.11
3	7.5	40,342.11
Total	22.5	121,026.32

Recopilando la información anteriormente mostrada en la tabla 2.18 tenemos:

Tabla 2.18 Datos consumos y potencia hidráulico a diferentes cargas

Carga	Flujo	Potencia bombeo secundario (kW)	Potencia UMAs (kW)	Consumo bombeo secundario (kW/año)	Consumo UMAs (kW/año)
100	1,275	168.00	193.70	903,663.16	1,041,902.11
75	956	70.88	81.72	381,232.89	439,552.45
50	637	21.00	24.21	112,957.89	130,200.99

En color amarillo se resalta el promedio anual de mayor consumo del sistema, siendo este el que más representaría la aplicación real del caudal variable

Tabla 2.19 Comparativa de carga al 100% y 75%:

Carga	Flujo	Potencia bombeo secundario (kW)	Potencia UMAs (kW)	Consumo bombeo secundario (kW/año)	Consumo UMAs (kW/año)
100.00	1,275.00	168.00	193.70	903,663.16	1,041,902.11
75.00	956.25	70.88	81.72	381,232.89	439,552.45
Ahorros		97.13	111.98	522,430.26	602,349.65

En la tabla 2.19 se hace la comparación del estado actual y del propuesto para mejorar el desempeño energético, haciendo la sumatoria del ahorro en el bombeo secundario y en las UMAs se tiene que los ahorros estimados anuales en consumo en el sistema hidráulico son de **1,124,779.92 kWh/año**.

Ahorros económicos.

De las propuestas anteriormente desarrolladas tenemos un total de ahorros en consumo energético estimado que se representa la siguiente tabla

Tabla 2.20 Ahorros total de propuestas

Sistema	Ahorros (kWh/años)
Iluminación	895,670.00
Generadores de agua helada	911,143.00
Caudal Variable	1,124,779.92
Total	2,931,592.92

De la tabla 2.20 vemos que dichos ahorros corresponden a un 44% de los 6,552,590 kWh/año de la línea base de la tienda. Ahora para pasar este consumo a números económicos se debe de hacer un costo integrado del precio del kWh que cobra el suministrado de electricidad en los diferentes horarios, priorizando el horario intermedio dado que es el de mayor operación de la tienda.

Este precio en la fecha de 8 de junio de 2019 que fue la última consulta que se hizo para el desarrollo de este estudio es de 2.1 MXN/kWh (*fuentes CFE*). Por lo tanto, el ahorro económico estimado se muestra en la tabla 2.21

Tabla 2.21 Ahorros energéticos y económicos totales proyectados

Sistema	Consumo (kWh/años)	Costo (MXN)
Actual	6,522,590.00	\$ 13,697,439.00
Propuesto	3,590,997.08	\$ 7,541,093.87
Diferencia	2,931,592.92	\$ 6,156,345.13

Es decir que se estima un ahorro económico anual de 6,156,345.13 MXN con un precio integrado de la energía, que representa un **44%** de la facturación anual eléctrica.

Ahora se hace el desglose de las inversiones necesaria para la implementación del proyecto.

Tabla 2.22 Costo de implementación sistema propuesto

Sistema	Costo de Inversión
Iluminación	\$ 1,427,893.00
Generadores de agua helada	\$ 9,259,800.00
Caudal Variable	\$ 1,320,465.00
Sistema de control	\$ 1,245,000.00
Variadores de frecuencia	\$ 762,845.00
Válvulas y accesorios	\$ 412,632.00
Total	\$ 14,428,635.00

En la tabla 2.22 se tienen los costos que se requiere para implementar el total de las acciones recomendadas previamente, dichos costos son integrados en un proyecto llave en mano, es decir, incluye materiales, mano de obra, herramientas, pruebas de arranque y limpieza.

Es importante aclarar que sólo se considera la sustitución de 2 GAH en el proyecto, dado que son dos los equipos que operan regularmente en las instalaciones. La inclusión del 3 GAH aumenta demasiado el costo de inversión haciendo más largo los tiempos de retorno

Según los datos anteriores el proyecto tiene un retorno simple de 31 meses, con un precio de la energía promedio del 2.1 MXN/kWh

Se planteó la propuesta a una ESCO bajo los anteriores términos técnicos para conseguir un financiamiento, haciendo que para el usuario final no se tenga inversión nula. Proponen un contrato durante 5 años con una iguala mensual de 463,117 pesos mensual. Es decir, el 100% son para ellos durante 5 años, siendo en palabras llanas, en 60 meses el usuario final obtendrá beneficios económicos del proyecto.

CAPITULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez hecho el desarrollo de la auditoria, propuesta de ahorros energético, evaluación técnica y económica se hace evidente que una reducción del 44% tanto de consumo eléctrico como de facturación eléctrica es muy atractiva para cualquier empresa de este giro, sin embargo, hay que tener en consideración varios factores del proyecto que pueden hacer que estos ahorros estimados varíen positiva o negativamente.

Como se ha mencionado estos ahorros son estimados y no se pueden garantizar que sea una realidad a la hora de que el sistema se ponga en operación, esto principalmente por las limitaciones que se tuvieron para las mediciones de las variables que determinan el consumo energético para cada uno de los sistemas estudiados. Sin embargo, una auditoría de este nivel abre el panorama dando pie a una propuesta de un estudio más requerido para la implementación de las acciones propuestas.

La realización de una ingeniería a detalle donde se involucre sistemas de medición con mayor cantidad de tiempo y con menos incertidumbre es la siguiente opción para quien desee tener un valor con la menor desviación posible de los ahorros energéticos, aunque dicha ingeniera incurre en costos iniciales de inversión que en el caso de la tienda estudiada no estaba dispuesta a solventar.

Conclusiones

En el desarrollo de este estudio en búsqueda de la solución a una problemática que actualmente presentan la mayoría de inmuebles de este giro, dio como resultado propuestas ingenieriles viables para la disminución del consumo energético y desempeño del mismo; el cual era el propósito principal de este documento a partir del diagnóstico energético realizado consiguiendo así los

objetivos planteados y abriendo la puerta para replicar este esquema con características similares de operación.

En el documento se menciona reiteradamente de la necesidad del control y monitoreo de los sistemas. Este monitoreo y control (aunque en su gran mayoría sea automatizado) de las variables relevantes siguen estando a consideración de los operadores de los sistemas siendo dichas variables las determinantes del desempeño energético de los sistemas de la tienda. Por lo cual este libre albedrío en la determinación de los valores de estas variables sin una conciencia certera y política organizacional de lo que implica el Ahorro y Uso Eficiente de la Energía en una empresa deja a que los sistemas sean propensos a malas prácticas operativas o desconocimiento de una gestión energética como la eventual rotación de personal caso presentado en el desarrollo del estudio.

Otro factor importante que se vio es el alto costo de inversión inicial que requiere por parte de la tienda para la implementación de todas las propuestas, que hace inviable por parte de la tienda la ejecución del proyecto. Algo que se recomendó es realizar un cronograma de implementación de las propuestas para ir generando ahorros progresivamente para que los costos de inversiones iniciales sean menores.

De igual forma se vio necesaria la comprensión de otros factores en el manejo de proyectos y es que, aunque se determinó un retorno simple de 31 meses, este tiempo es a partir de la instalación total de los sistemas. Pero el tiempo de ejecución del proyecto en total haciendo todas las labores requeridas simultáneamente es de 9 meses, tiempo en el que no se tiene beneficios económicos y se conlleva en gastos constantes.

Por último y no menos importante se tocó que en la actualidad y extrapolando el comentario a partir de lo concluido en este estudio, los proyectos de eficiencia energética dependen primordialmente del costo de los energéticos y aunque indudablemente van al alza y el costo de operación será el mayor impulsador; sin incentivos fiscales, programas gubernamentales y sin conciencia ambiental los proyectos de eficiencia energética no serán prioridad en las organizaciones.

Bibliografía.

- ASHARE Handbook. HVAC APPLICATIONS. Atlanta. ASHRAE -ASHRAE. (2009). HVAC Handbook. FUNDAMENTALS. Atlanta. ASHRAE.
- "Sistemas de Caudal de Agua Variable en circuito primario", Maria Mercedes Lorente Saez, Juan Manuel Vico. Johnson Controls
- Carrier Air Conditioning Co. (1980). Manual de Aire Acondicionado. Barcelona. Marcobo
- "Variable Primary Flow Chilled Water Systems: Potencial Benefits and Application Issues" William P. Bahnfleth, PhD., P.E and Eric Peyer. Virginia, EEUU. Marzo 2004
- "Effect On the Certification On Chillers Energy Efficiency" IEECB. Frankfurt, Germany Abril 2006
- Hernández E. (2009). Fundamentos de Aire Acondicionado y Refrigeración. México. Limusa.
- Willis Carrier, "Father of air Conditioning", Fetter Printing Company, Lousville, KY.
- John Wiley & Sons, "Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado Análisis y Diseño", Editorial Limusa, 6ta. Edición 2008.
- Behrouz A. Forouzan, "Transmisión de Datos y Redes de Comunicación", Editorial: Mc Graw Hill 2da. Edición 2001.
- Edward G. Pita, "Acondicionamiento del Aire" 2da. Edición 1994 Editorial CECSA.
- NOM 001 SEDE 2012 "Instalaciones Eléctricas" Diario Oficial de la Federación.
- Nestor Pedro Quadri, "Instalaciones de aire acondicionado y calefacción", 6ta. Edición 2002, Editorial Alsina.
- Albert Thumann & D Paul, "Handbook of Energy Engineering", Mehta 6ta. Edición 2008, Editorial CRC Press.
- Baca Urbina, Gabriel; "Formulación y Evaluación de Proyectos Informáticos", 5ta. Edición 2006, Editorial: Mc Graw Hill.