 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

IDENTIFICACIÓN DE ESTRATEGIAS DE AHORRO ENERGÉTICO EN SISTEMAS HVAC APLICADAS A EDIFICIOS TERCARIOS

Miguel Ángel Rodríguez Cabal

Tecnología electromecánica

Director(es) del trabajo de grado

Luis Fernando Grisales Noreña

Jairo Alberto Díaz Acevedo

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

12 de octubre de 2017

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RESUMEN

Los sistemas de HVAC constituyen una parte primordial en cualquier tipo de edificación y espacio en cualquier lugar del mundo, el confort térmico permite a todos los seres que habitan un espacio el sentirse a gusto con este y poder trabajar, estudiar, comprar, etc., de una forma tranquila y segura. Ya que este tipo de sistemas constituye el 50% de las cargas en los edificios terciarios (hacia los cuales va enfocado este trabajo), es necesario establecer una forma de mitigación del consumo energético que estos presentan. Para ello se han creado diversas estrategias que nos permiten encontrar la mejor forma de operar un equipo para disminuir los tiempos de encendido, regular la salida de aire, mitigar los efectos nocivos, entre otras, con el fin de lograr sistemas eficientes y amigables con el medio ambiente.

En el siguiente trabajo se identificarán diferentes estrategias de ahorro para sistemas HVAC en edificaciones terciarias. Se expondrán las metodologías más usadas, las cuales han sido demostradas o probadas en un caso específico de prueba, representando con porcentajes reales o simulados el ahorro energético que es posible alcanzar con cada uno de los trabajos citados. Además, se expresa las variables necesarias para la evaluación del estado energético y se desglosan los distintos elementos que componen los sistemas de HVAC, con el fin de lograr una mayor comprensión por parte del lector.

Palabras clave: calefacción, aire acondicionado, ventilación, calentamiento, eficiencia, ahorro, consumo, energía.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RECONOCIMIENTOS

Quiero agradecer a mis padres por el apoyo que me han brindado en mi proceso de aprendizaje y me han enseñado a superarme siempre y hacer todo de la mejor manera. A mis maestros por el conocimiento y ayuda proporcionada para la realización de este trabajo. A los tutores Luis y Jairo por la oportunidad de realizar este trabajo de investigación y por los aportes que han afectado positivamente mi formación.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

ACRÓNIMOS

HVAC: Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado (de sus siglas en inglés - Heating Ventilating and Air Conditioning).

URE: Uso Racional de la Energía

SA: Suministro de Aire

RA: Aire de Retorno

VAV: Volumen de Aire Variable

ACS: Agua Caliente Sanitaria

PPLs: Cargas de Enchufe y Procesamiento (De sus siglas en inglés – Plug in and Process Loads)

DEC: Enfriamiento Evaporador Directo

RITE: Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios

CAI: Calidad del Aire Interior

ASHRAE: Sociedad Americana de Ingenieros en Calentamiento y Refrigeración

ISO: Organización de Estándares Internacionales

PMV: Voto Promedio Predicho (de sus siglas en ingles Predicted Mean Vote)

PPD: Porcentaje de No Satisfacción Predicha (de sus siglas en inglés Predicted percentage dissatisfied)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	6
2. MARCO TEÓRICO.....	8
3. METODOLOGÍA.....	12
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	14
5 CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	46
REFERENCIAS	49

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1. INTRODUCCIÓN

Los edificios terciarios presentan hoy en día un aumento en el consumo energético a nivel global, por lo que se hace necesaria la intervención de las diversas cargas que los componen en busca de mejorar las condiciones técnico-operativas del espacio donde estas son aplicadas. En este trabajo de investigación se han identificado como cargas principales los sistemas de iluminación, cargas enchufables y sistemas de ventilación, calefacción y aire acondicionado (HVAC), enfocándose en este último, el cual representa el 50% de la energía consumida en este tipo de edificaciones (Vakiloroaya, Samali, Fakhar, & Pishghadam, 2014).

Se entiende por sistemas de HVAC, los equipos e instalaciones dedicadas a la calefacción, ventilación y al acondicionamiento de agua y aire. Un sistema de HVAC ineficiente no solo impacta negativamente los costos de energía, sino que a su vez pone en riesgo la vida de las personas que habitan los espacios, por medio de la generación gases de efecto invernadero y otros desechos que afectan el medio ambiente. Debido a esto, se han realizado investigaciones y normalizaciones para lograr el correcto funcionamiento de estos sistemas, los cuales pueden llegar a ser bastante complejos, dependiendo de la carga térmica que deban manejar. Estos sistemas representan una carga mayor a medida que su complejidad aumenta, surgiendo la necesidad de la implementación de estrategias tanto operativas como de reconversión tecnológica en busca de mejorar la eficiencia de este tipo de sistemas; estas nos permiten mitigar dichos impactos, reducir el consumo y mantener la envolvente en sus óptimas condiciones de trabajo. Para el desarrollo de este trabajo de investigación se presentan como objetivo general y específicos los siguientes:

Objetivo general:

Identificar estrategias de ahorro energético en sistemas HVAC aplicadas a edificaciones terciarias.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Objetivos específicos:

- Identificar de los componentes de los sistemas HVAC aplicados a edificaciones terciarias.
- Determinar las variables y parámetros para la identificación del estado energético de los sistemas HVAC.
- Identificar Las normas que rigen los sistemas HVAC
- Analizar las diferentes estrategias de ahorro energético aplicadas a los sistemas HVAC aplicadas a edificaciones terciarias.

Este trabajo se encuentra organizado en 5 secciones. En la sección 2 se realiza la presentación del marco teórico en la cual se explica que es una edificación terciaria mencionando los tres tipos de cargas que las componen y su definición, por último, se define que es una estrategia de ahorro energético. En la sección 3 se establece la metodología usada para dar cumplimiento a cada uno de los objetivos del proyecto; los resultados se encuentran en la sección 4, en ella se definen los tipos de sistemas de HVAC que existen en edificaciones terciarias, la normativa que los rige, las variables y parámetros que determinan el estado energético, y se enuncian las estrategias de ahorro energético analizadas. Finalmente se presentan las conclusiones, recomendaciones y trabajo futuro.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2. MARCO TEÓRICO

El siguiente trabajo se centró en la identificación de las estrategias de ahorro energético para sistemas de ventilación, calefacción y aire acondicionado (HVAC) en edificios terciarios, para lo cual se hizo necesario definir que es una edificación terciaria, además, se dan a conocer las principales cargas que en estos se presentan, haciendo énfasis en los sistemas de HVAC, enunciando sus componentes principales, importancia e identificando los equipos más usados en este tipo de edificios. Se identificó la importancia de la implementación de estrategias de ahorro, mencionando las más usadas a los sistemas aquí tratados.

2.1 Edificación terciaria

Se conoce como edificio terciario, todo espacio del sector público o privado que presta un servicio y suple las necesidades de distintos tipos de usuarios (center for sustainable system, 2016).

Entre los tipos de edificación terciaria se encuentran:

- educativos: espacios usados para la instrucción académica como universidades y colegios.
- Mercantil: edificios usados para la venta y distribución de todo tipo de artículos, entre estos se encuentran: centros comerciales, supermercados, concesionarios, entre otros.
- Salud: edificios usados en el campo de la salud para la valoración, consulta y tratamiento de pacientes, entre estos se encuentran los hospitales, centros de rehabilitación, clínicas veterinarias y consultorios externos.
- Alojamiento: edificios usados, como su nombre lo indica, para el alojamiento u hospedaje de personas con fines tanto recreativos como hoteles, hasta lugares como hogares geriátrico y refugios donde se les brinda a los inquilinos un mayor rango de servicio

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Oficinas: edificios centrados en labores administrativas profesionales, en estas se pueden encontrar: call-centers, instituciones financieras, oficinas gubernamentales o administrativas, entre otras.
- Públicos: espacios dedicados a las actividades sociales o recreativas como gimnasios, espacios deportivos, discotecas, además de espacios en los que se prestan servicios como museos, teatros, librerías y terminales de transporte.
- Orden público y seguridad: entre este tipo de edificaciones se encuentran las estaciones de policía, cárceles, juzgados, entre otras.
- Servicio: lugares en los que se prestan servicios diferentes a la venta o distribución, entre los principales podemos destacar los talleres de reparaciones, lavanderías, estaciones de servicio, salones de belleza y parqueaderos.
- Almacenes y depósitos: espacios dedicados al almacenamiento de todo tipo de objetos, desde nivel comercial hasta industrial, entre estos podemos hacer la distinción entre los que son refrigerados (como los usados en alimentación) y los que no como son bodegas en general.

Esta información fue extraída del (U.S Energy Information Administration, 2016)

2.2 Cargas eléctricas

Los edificios terciarios son los que hoy en día presentan más consumo energético comparado con sectores industriales y de transporte, además de ser los que en la actualidad están aportando a la emisión de gases de efecto invernadero y el uso de energías no renovables.(Barnes & Parrish, 2016). La mayor parte de la energía en este tipo de edificaciones es consumida por los sistemas de HVAC, iluminación y otros equipos. Según estudios realizados en estados unidos el 50% del consumo de energía se le atribuye a sistemas HVAC (Hong et al., 2015) . A continuación, se definirá cada una de las cargas antes mencionadas haciendo énfasis en los sistemas de HVAC.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.2.1 Sistemas de iluminación:

Los sistemas de iluminación son de gran importancia para garantizar la productividad y eficacia en el desarrollo de las actividades involucradas en una edificación terciaria, debido a que potencializan el confort ocupacional. Un nivel de iluminación apropiado disminuye el cansancio visual y el riesgo de producirse efectos colaterales en la salud de las personas, así como el índice de errores en la ejecución de actividades (Superior, Carlos, & Prada, 2011). De igual forma, los sistemas de iluminación consumen aproximadamente el 20% de energía en edificaciones enfocadas en la prestación de servicios (Ürge-Vorsatz et al., 2012).

2.2.2 Cargas de enchufe y procesamiento:

Las cargas de enchufe y procesamiento (PPL's) son todos los dispositivos que se conectan a una toma corriente, en estos no solo se encuentran equipos electrónicos de oficina, también se incluyen los electrodomésticos y maquinaria especial que se pueda encontrar en un espacio. Estas cargas constituyen un consumo considerable de potencia eléctrica en los edificios.

2.2.3 Sistemas HVAC:

Un sistema HVAC se define como el conjunto de elementos que permite la manipulación de la temperatura de un espacio condicionado con el fin de garantizar y maximizar el confort térmico, esto se logra por medio de la regulación de la humedad y calidad del aire, agregando o removiendo calor según sea necesario (Turner & Steve, 2007). En el área de HVAC no solo hacen parte los sistemas que acondicionan el aire, también podemos encontrar equipos destinados al calentamiento y enfriamiento del agua para su posterior distribución en el edificio, su finalidad es proporcionar un suministro constante de agua a la temperatura que se requiera, debido a que, en algunas edificaciones terciarias, es de vital importancia contar con un suministro de agua caliente. El propósito de este sistema es mantener los valores requeridos de las variables determinadas mediante un flujo de aire o agua el cual es tratado dependiendo de la variable a controlar y el tipo de equipo que realice el proceso.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Como antes se había mencionado, los sistemas HVAC constituyen el 50% de la energía total que consume un edificio, por ello se hace necesario implementar un modelo de ahorro energético. El desarrollo de sistemas HVAC energéticamente eficientes es esencial, esto debido a que protege a los usuarios de elevados costos energéticos, además, reduce los impactos negativos al medioambiente generados por los gases de efecto invernadero que producen las emisiones de los equipos en aplicaciones eléctricas. (Vakiloroaya, Samali, Fakhar, et al., 2014). Los equipos que constituyen el sistema funcionan en su totalidad con electricidad, la principal carga en un sistema de HVAC es el motor eléctrico, este no solo trabaja como compresor, también está el motor que mueve los ventiladores, además, los mecanismos de control, las bombas secundarias y los quemadores en los hornos, también generan consumo de potencia eléctrica. La mayoría de sistemas HVAC en edificaciones terciarias, son trifásicos y constituyen por sus cargas un consumo considerable de potencia eléctrica (Kissell, 2008).

2.3 Estrategias de ahorro energético

Las estrategias de ahorro surgen como necesidad a la hora de mejorar los factores antes mencionados, desde este punto y con el auge del uso racional de la energía (URE), además de la necesidad del cuidado del medio ambiente por las nuevas políticas implementadas. Por esta razón se hace necesario identificar las estrategias más aplicadas a los sistemas HVAC, estas se pueden dividir en dos: operativas y de reconversión tecnológica. En las operativas se encuentra todo lo relacionado con el manejo de la envolvente, como es la sectorización, la manipulación de las variables y la ubicación del lugar, sin realizar ningún tipo de cambio físico en sistema. En la parte de las estrategias por reconversión tecnológica encontramos todos los elementos relacionados al sistema, como es la selección adecuada de un equipo eficiente que cumpla con las condiciones a las cuales se necesita este opere, la forma de distribución y aislamiento de ductos de ventilación y tubería, control de espacios para el encendido y apagado de los equipos, entre otras, es considerada como “reconversión” debido a que se necesita la instalación de un nuevo equipo o la manipulación física del sistema existente. Esta investigación está enfocada en estas estrategias y en la especificación de las mismas para determinar el impacto positivo que representa su implementación en un campo real.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3. METODOLOGÍA

Esta investigación tuvo como objetivo la identificación de estrategias de ahorro para edificaciones terciarias, enfocada directamente a los sistemas de HVAC. Para su desarrollo se dividió la sección de resultados en cinco etapas, la cuales se describen a continuación.

Etapas 1. Sistemas de HVAC en edificaciones terciarias

En esta etapa se inició con la descripción de los sistemas HVAC, los distintos tipos que existen, y los elementos que los componen. Se busca información de distintas fuentes confiables para darle una correcta explicación al sistema de acondicionamiento de agua y aire.

Etapas 2. Variables y parámetros

Se procedió a la identificación de las variables y parámetros que intervienen y afectan directamente los sistemas HVAC. Presentando el método para la evaluación del estado operativo de cargas HVAC en edificaciones terciarias.

Etapas 3. Normas aplicadas a los sistemas de HVAC

Se consultan sobre las distintas normas y estándares que regulan los sistemas de HVAC, exponiendo aquí de una manera corta las principales a nivel nacional e internacional, estableciendo de manera clara los elementos que las componen y a que van enfocadas.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Etapas 4. Estrategias de ahorro en sistemas de HVAC

Se enmarcan aquí diez distintas estrategias de ahorro energético para sistemas de HVAC.

Estas se consignan en una tabla en la cual se expondrá:

- El título del artículo en la cual fue encontrada.
- Un resumen explicando en que consiste la estrategia y que se quiere lograr.
- Las herramientas usadas como softwares, metodologías matemáticas o equipos.
- Explicación de la metodología realizada y la forma en la cual se disminuye la carga térmica o eléctrica.
- Variables afectadas y parámetros establecidos.
- Exposición del espacio de prueba.
- Descripción de los resultados obtenidos.
- Ahorro que se puede llegar a obtener con la aplicación de la estrategia.

Con lo cual se podrá identificar y analizar cada estrategia abordada. Finalmente se abordan las conclusiones y trabajos futuros, relacionadas con la temática aquí abordada.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El consumo de la energía a un nivel global ha sufrido un incremento considerable, esto debido a que cada día se construyen nuevas edificaciones y espacios. Por otro lado, se suma el avance tecnológico, factor que aumenta la demanda de energía. De acuerdo a esto se hace necesario hoy en día hablar de “*ahorro energético*” y del uso racional de la energía (URE), con lo cual se puede reducir el consumo energético e impactar directamente los costos asociados a este y el impacto ambiental. Los sistemas de HVAC, al considerarse como la carga principal en un edificio terciario, son los principales a intervenir para lograr una eficiencia energética. Para lo cual, se hace fundamental el hallar estrategias que nos ayuden a reducir los consumos que generan los equipos usados en dichos sistemas.

Para poder llevar a cabo el objetivo general de este trabajo de investigación, se requiere ampliar el conocimiento de los sistemas de HVAC y la información que nos permita implementar las estrategias de ahorro para los mismos. Para lo cual se procederá en primer lugar con la identificación de los distintos tipos de equipos y sistemas para el calentamiento y refrigeración del agua, y el acondicionamiento del aire.

4.1 sistemas HVAC en edificaciones terciarias.

Los sistemas de HVAC se dividen en dos tipos dependiendo de la carga térmica a la que este sea sometido, podemos hablar de sistemas centralizados o sistemas de expansión directa. Estos sistemas poseen diversos elementos los cuales para su mejor explicación pueden ser divididos en cinco subsistemas o circuitos. Es de aclarar que no todos los sistemas de HVAC poseen todos los circuitos, debido a que esto depende de la carga térmica, lo que influye directamente en el tipo de equipo con el que se refrigerara el aire que se extrae de la envolvente.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4.1.1 Circuito de aire

El principal componente en este circuito es el espacio condicionado, consiste en mantener un flujo constante de aire para garantizar que la humedad y temperatura mantengan un valor estable. Para esto el calor sensible y la humedad, o calor latente, será removido o añadido en la misma tasa en la que este sale o entra del espacio. El aire acondicionado que ingresa al espacio es llamado aire de suministro (SA) y el aire que lleva el calor y la humedad fuera del espacio se llama aire de retorno (RA) (Trane, 2004). Dentro de los componentes que constituyen circuito de aire, se encuentran:

- Ventilador de suministro: este elemento se encarga de entregar el aire de suministro al espacio, además, en algunos casos, es usado para dirigir el aire de retorno fuera de la envolvente. En otros sistemas se usa un ventilador secundario llamado ventilador de retorno para esta última operación. Debido a que uno de los requerimientos del sistema es que el aire acondicionado este limpio, este ventilador debe contar con un filtro para remover los contaminantes que transporta el aire que ingresa al circuito.
- Serpentín de enfriamiento: durante la etapa de enfriamiento, el SA debe estar lo bastante fresco para absorber el exceso de calor sensible del espacio y lo suficientemente seco para absorber el exceso de humedad, para esto es usado un intercambiador de calor o Serpentín de enfriamiento, el cual se encarga de refrescar y deshumidificar el SA antes de ser entregado a la envolvente.
- Serpentín de enfriamiento de agua enfriada: este elemento se encarga de absorber el calor y la humedad del aire, al pasar por el serpentín, este entra en contacto con tubos fríos y alerones, lo que hace que el calor sensible sea transferido del aire al fluido que se encuentra dentro de los tubos, de esta manera el aire que pasa a través de este equipo es refrescado y deshumidificado.

La temperatura y humedad del SA es solo aplicable a un punto en el tiempo. El requerimiento de enfriamiento o carga del espacio condicionado varia a lo largo del día

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

y del año. El circuito de aire responde al cambio de dichas cargas debido a que cuenta con la capacidad de variar la temperatura y la cantidad de aire que se entrega a la envolvente. Para lograr esto existen varios tipos de sistema los cuales se explican a continuación:

- Sistema de volumen constante: este sistema provee una cantidad constante de SA y varia su temperatura en respuesta al cambio de la carga de enfriamiento en el espacio. Un termostato compara la temperatura en el espacio con el setpoint o punto de referencia. Luego modula la capacidad de enfriamiento hasta que la temperatura del espacio llegue a la temperatura requerida.

- Sistema de volumen de aire variable (VAV): En este sistema se varia la cantidad de SA a temperatura constante en respuesta al cambio de la carga de enfriamiento. En este sistema una unidad VAV es añadida al circuito de aire. Cada espacio condicionado o grupo de espacios similares llamados zonas, tienen una VAV separada. La cantidad de SA suministrado al espacio o zona varia mediante un dispositivo de modulación del flujo del aire. Un termostato compara la temperatura del espacio con la de referencia, este modula la cantidad de SA entregado al espacio cambiando de posición el dispositivo de flujo de aire en el VAV. La capacidad del ventilador de suministro es modulada para que entregue solo la cantidad de SA que se requiere, y la capacidad de enfriamiento está diseñada para mantener un SA a temperatura constante.

- Ventilador convector: El ventilador convector, también llamado unidad fan coil, puede ser instalado en el espacio condicionado. En este el RA del espacio es tomado por el ventilador de la unidad, la cual se encarga de mezclarlo con aire exterior el cual entra por un regulador separador. Este aire mezclado pasa a través del filtro, del ventilador de suministro y por el serpentín de enfriamiento el cual envía desde la parte superior de la unidad el aire acondicionado a la envolvente.(Trane, 2004).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Sistema de aire acondicionado: un sistema de aire acondicionado consiste en una sección de condensado la cual está localizada en espacios exteriores y tiene un compresor y una bobina de condensación. La parte interna del sistema consiste en una caldera o unidad de ventilación que mueve el aire sobre un serpentín de evaporación. El serpentín está ubicado en el ducto de trabajo, y el aire moviéndose sobre el refresca el espacio condicionado. Este sistema tiene la capacidad de controlar el flujo del aire y la humedad del ambiente. (Kissell, 2008).

Este último sistema requiere de un método para la entrega del aire acondicionado a la envolvente. Por lo tanto, se necesita un Sistema de distribución del Aire de suministro (o aire acondicionado).

El sistema de distribución de aire acondicionado es usado para dirigir el SA desde la unidad de aire acondicionado hasta uno o más espacios. Esta constituido principalmente por:

- Entrada de aire exterior.
- Entrada de aire de retorno.
- Unidad de aire acondicionado o Central Air Handler.
- Ductos de distribución.
- Ductos flexibles.
- Unidad de terminal, en esta se puede encontrar tanto un VAV como una unidad de volumen constante.
- Difusor, estos son usados para distribuir de manera efectiva el SA en el espacio condicionado

4.1.2 Circuito de agua enfriada

En el circuito de aire, se usa un serpentín de enfriamiento para refrescar y deshumidificar el aire de suministro, el agua o refrigerante que circula por el serpentín hace parte del circuito de agua enfriada, este se encarga de enfriar el fluido refrigerante del sistema por medio de los siguientes componentes:

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Evaporador: es un intercambiador de calor, el cual se encarga de enfriar el agua que retorna del serpentín.
- Evaporador de carcasa y tubos: en este el líquido de retorno del serpentín de enfriamiento ingresa por una de las carcasas y llena el espacio rodeando los tubos por los que circula un líquido refrigerante, el calor es transferido a este y permite que el líquido enfriado salga del tubo principal a la temperatura deseada.
- Bomba y válvula de control: la bomba se encarga de mover el agua a través del circuito, esta debe tener la potencia suficiente para que el agua atraviese todos los elementos de manera adecuada. Al igual que el circuito de aire libre, este circuito debe responder al cambio en las cargas de enfriamiento, por medio de la variación de la temperatura la cantidad de agua que es liberada al serpentín de enfriamiento. El método más común para variar el flujo de agua e usando una válvula de control la cual varia su apertura dependiendo de si la carga aumenta o disminuye para variar de esta manera la capacidad de enfriamiento.
- Bomba de calor: Es un sistema de HVAC el cual tiene una válvula especial reversible que permite al sistema enfriar la envolvente en verano y revertir el flujo del refrigerante para proveer calor en invierno. El serpentín interno actúa como condensador y evaporador dependiendo del ciclo en el que se encuentre. Además, este sistema tiene la capacidad de ingresar calor del ambiente a la envolvente en invierno y extraer el calor interno en verano.(Kissell, 2008)

4.1.3 Circuito de refrigeración

este circuito funciona en principio con los elementos mencionados en el circuito anterior como son el evaporador y el evaporador de tubos y carcasa. Su función es, como su nombre lo indica, refrigerar el aire y acondicionarlo para su entrega. Para el correcto análisis de esta parte del sistema se añaden otros componentes como son:

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Compresor: es usado para bombear el vapor de refrigerante de baja presión del evaporador y comprimirlo a una presión más alta. Al incrementar la presión también lo hace la temperatura del fluido. Los compresores más usados en los sistemas de HVAC son: pistones de desplazamiento positivo, tornillo helicoidal y centrifugo. El tipo de compresor se escoge dependiendo de la carga de refrigeración.
- Condensador: el condensador es un intercambiador de calor que transfiere el calor del vapor del refrigerante al agua, aire u otro fluido que este a una menor temperatura, en el serpentín que se encuentre en su interior. El calor es removido del refrigerante, se condensa y vuelve a su fase líquida.
- Dispositivo de expansión: es el paso final del ciclo de refrigeración, el líquido que sale del condensador pasa a través del dispositivo de expansión el cual reduce la presión y temperatura del refrigerante. La temperatura se reduce al punto donde está lo suficientemente frío para absorber calor del evaporador.

En el circuito de refrigeración se pueden encontrar equipos en los cuales se encuentran en un mismo lugar todos los elementos antes mencionados, un ejemplo de esto es el enfriador de agua helicoidal rotativo y la unidad de aire acondicionado de techo. Esta última no usa laso de agua enfriada.

4.1.4 Circuito de rechazo de calor

Este sistema se encuentra en casos en los que el ventilador convectivo debe ser enfriado por agua debido a que la carga térmica es lo suficientemente alta como para ser enfriado por aire, por lo cual se hace necesario incluir una torre de enfriamiento, la cual es destinada para la refrigeración del agua usada para refrigerar el chiller.

En esta, el agua caliente que regresa del condensador es rociada sobre el relleno de la torre, el cual se encuentra en su interior, mientras un ventilador propulsor arroja aire externo hacia la parte superior sobre el relleno de la torre. la estructura del relleno

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

permite que el aire tenga mayor contacto con el agua rociada sobre el mismo, lo que permite una transferencia de calor más eficiente. el movimiento del aire a través de esta estructura ocasiona que una parte del agua se evapore, luego de esto se enfría el agua remanente lo cual la hará caer en el sumidero de la torre dirigiéndola de nuevo al condensador. A este circuito se le añade una bomba la cual se encargará de llevar el fluido por todos los elementos que lo componen.

La capacidad de rechazo del calor en este circuito puede variar en respuesta al cambio de la carga. En el caso del condensador enfriado por agua, esto se logra por medio de la variación de la temperatura del fluido que se le entrega al condensador, dicha variación se logra usando ventiladores de velocidad variable en la torre de enfriamiento.

Un método para variar la cantidad de agua que fluye a través del condensador es mediante el uso de una válvula de control modulada, lo que permite variar el flujo a medida que los requerimientos de rechazo de calor también lo hagan.

4.1.5 Circuito de control

El quinto y último circuito es el de control, en este se encuentran todos los elementos que controlan el sistema, y el manejo de la envolvente. En la mayoría de sistemas de HVAC el control de encendido y apagado se controla por medio de termostatos y medidores de humedad, debido a que estas son las dos principales variables que definen el confort térmico de los ocupantes.

Todos los 4 subsistemas antes mencionados contienen gran cantidad de componentes, cada uno de ellos debe ser controlado de una manera particular para asegurar su correcta operación. En la mayoría de los casos, cada unidad o equipo es equipado con una unidad de nivel o un controlador automático.

En orden de proveer control coordinado para que cada pieza individual opere en conjunto como un sistema eficiente, los controladores se conectan a una central.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Finalmente, muchos operadores en edificios necesitan monitorear, recibir alarmas y diagnosticar los sistemas. Para esto es usada los controles automáticos.

4.1.6 Agua caliente

Los sistemas de HVAC no hacen solo referencia a sistemas de aire acondicionado, también, entre estos se encuentran los encargados del calentamiento y acondicionamiento del agua. En los edificios terciarios, el agua es un componente fundamental, tanto para garantizar que todos los espacios cuenten con agua potable, como para casos en los que el agua caliente sanitaria (ACS) sea totalmente necesaria, como en hoteles y hospitales (ATECYR, 2010).

Es común en las edificaciones terciarias contar con calderas que operan para suplir los sistemas tanto de calefacción, como el circuito primario de ACS. Por la forma de producción del ACS se distinguen dos tipos de instalaciones, con o sin acumulación; respecto a las distribuciones todas las instalaciones son similares.

Principalmente podemos hacer una división entre la forma de producción, entre las cuales se destacan:

- Producción instantánea: en este tipo de producción, el diseño de los intercambiadores está condicionado al momento de máxima demanda, debido a que el agua de las calderas calienta el agua de consumo al mismo tiempo que se demanda. Como elementos auxiliares estos sistemas requieren bombas en el circuito primario para hacer circular el agua de los colectores de calderas a los intercambiadores.
- Producción por acumulación: para reducir la potencia necesaria en producción y al mismo tiempo obtener funcionamientos más homogéneos de la instalación se utilizan los sistemas con acumulación en depósitos en los que se mantiene el agua caliente hasta el momento de su uso, de manera que en las puntas de demanda del edificio se utiliza el agua acumulada, solicitándose una potencia inferior a la del sistema de producción. A su vez, este tipo de producción puede ser dividido

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

dependiendo si es con acumulación o semi-acumulación, Los volúmenes de acumulación se diseñan para atender a la demanda punta con el agua acumulada, mientras que los de semi-acumulación solo pueden hacer frente a una parte de esa demanda, requiriendo el apoyo de la producción para cubrir la punta completa.

Los circuitos de ACS se componen de los siguientes elementos:

- Intercambiadores: los intercambiadores son de dos tipos: tubulares y de placas. en estos el agua del circuito primario calienta el agua de consumo por medio de tubos por los que se transfiere el calor o placas respectivamente, esto con el fin de que el agua de la caldera y la de consumo estén separadas.
- Depósitos: los depósitos de acumulación de ACS pueden ser inter-acumuladores o acumuladores, según contengan o no en su interior al intercambiador. Su función es la de contener el agua de consumo.
- Válvulas de regulación: su función es la regulación de las temperaturas de ACS para esto se emplean dos tipos de válvulas:
 - Motorizadas.
 - Termostáticas.

En ambos casos el cuerpo de la válvula debe estar diseñado para trabajar con agua de consumo, siendo los materiales más habituales acero inoxidable, bronce o aleaciones especiales.

- contadores: En las instalaciones centrales de ACS se requieren contadores en la entrada general de agua fría, para control del consumo general.
- Tuberías: la tubería será la encargada de distribuir el ACS a todo lugar donde se necesite, para ello se debe tener en cuenta el material, los accesorios a usar, la temperatura a la que trabajaran y la presión de trabajo. Teniendo en cuenta todos

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

estos factores y el uso que se le dará al ACS se escogerá entre los distintos materiales que cumplan tanto con estos factores, como con la higiene necesaria.

- *Aislamiento térmico:* es uno de los aspectos más importantes de las instalaciones de ACS, el aislamiento térmico sirve tanto para protección, tanto en materia de seguridad personal y estructural, como para disminuir las pérdidas de calor en el trayecto a los puntos más alejados de consumo.

4.2 Parámetros, variables y técnicas de identificación de estado energético de sistemas HVAC

Los sistemas de HVAC se ven afectados por diferentes variables y parámetros que se hacen necesarios identificar a la hora de intervenir un equipo o al hablar de estrategias de ahorro. Dichas variables se pueden dividir en dos: Variables eléctricas y variables del funcionamiento del equipo, las cuales serán descritas a continuación:

4.2.1 Variables eléctricas

Como ya se ha mencionado, los sistemas de HVAC están compuestos por distintos elementos los cuales hacen uso de la energía eléctrica para su funcionamiento. Al hablar de consumo de energía eléctrica se hace preciso mencionar voltaje y corriente, conociendo que la carga eléctrica es directamente proporcional a la corriente del circuito, y el voltaje una variable que se mantiene constante según sean las condiciones de operación establecidas en los datos de placa de cada equipo; las cuales son utilizadas para calcular el consumo eléctrico del sistema HVAC. Tanto la corriente como el voltaje (medidas en amperios, voltios, respectivamente), son variables de fácil medición, gracias a que los instrumentos (multímetro y pinzas volti-amperimétricas) son de fácil acceso y muy económicas (Kissell, 2008).

Como es sabido, el consumo de energía se realiza en Kilovatios por hora (KW/h), este consumo es medido por un contador, y especifica cuanta potencia es consumida por

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

una unidad de tiempo. La potencia se define como la cantidad de energía que se necesita para realizar un trabajo en un tiempo determinado (Kissell, 2008). Esta variable también puede ser hallada mediante la multiplicación del voltaje, al cual se encuentra alimentado el circuito, por la corriente consumida por el mismo. En los circuitos eléctricos de HVAC podemos encontrar dos tipos de potencias: potencia activa y potencia reactiva.

- La potencia activa es la que se expresa en la capacidad de convertir la energía eléctrica en un trabajo como movimiento o iluminación. Esta potencia es medida en vatios o watt (W), la cual corresponde a cargas del tipo resistivo.
- La potencia reactiva es la utilizada en la generación de los campos eléctricos o magnéticos necesarios para la operación de las cargas inductivas o capacitivas, como es el caso de los motores, compresores, entre otras. Esta potencia es medida en voltamperio reactivo (VAR).

La potencia reactiva debe ser monitoreada constantemente debido a que un alto consumo de la misma ocasionaría diversos problemas al cargar la red con armónicos lo cual incrementaría la carga eléctrica en los circuitos (RETIE, 2013).

El control de consumo de reactivos se hace por medio de la medición del factor de potencia, el cual establece la relación entre la potencia activa y la potencia total. Para esto se debe medir el factor de potencia, el cual representa el coseno inverso del ángulo que se forma entre la potencia activa y la reactiva. Para la medición de esta variable se cuenta con un equipo conocido como el cosenofímetro. Para Colombia el factor de potencia debe estar ubicada entre 0,9 y 1, si el sistema eléctrico está por debajo de este nivel, las empresas prestadoras de servicios de red realizan una penalización debido a que puede afectar directamente el sistema de distribución de energía eléctrica. Este factor es corregido por medio de un banco de condensadores el cual inyecta potencia a la red corrigiendo de esta manera el Angulo de fase.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Adicional a las variables anteriores, dentro de los análisis de estado energético se considera la distorsión armónica; la cual se crea por cargas no lineales las cuales generan armónicos debido a la generación de los campos eléctricos, estas señales entran en la red y alteran la onda, produciendo sobrecargas de corriente y elevación de la potencia al producirse una fluctuación en el voltaje aplicado (Suárez, Mauro, & Agüero, 2005).

4.2.2 Variables del funcionamiento del equipo

Como se menciona anteriormente, el objetivo de los sistemas de HVAC es garantizar el confort térmico. Para lo cual se hace necesario mencionar los distintos parámetros que establecen los equipos para lograr que la sensación térmica de los ocupantes este siempre satisfecha.

Al hablar de sensación térmica, claramente se debe mencionar a la temperatura, la cual es medida en grados Celsius o Fahrenheit (según la zona en la que opere), es la que nos dice que tan caliente o fría se encuentra un espacio o superficie; Directamente ligada a la temperatura se encuentra la humedad relativa, esta variable expresa el porcentaje de vapor de agua que contiene el aire, en los sistemas de HVAC juega un papel importante debido a que se debe controlar la humedad dependiendo de la zona climática en la que se encuentre, evitando daños en equipos y choques térmicos de las personas al salir del espacio acondicionado. Por último, en cuanto a variables principales, se encuentra la velocidad del aire, esta es establecida por la unidad manejadora o por las unidades VAV, esta es medida en pies por segundo (ft/s) o metros por segundo (m/s).

Adicional a los parámetros que definen el confort térmico, se deben incluir los encargados de la calidad del aire, la cual depende de diversos factores como son: la higienización, la concentración de CO₂, el caudal de aire, filtración del aire y aire de extracción. Según el RITE (Energía, 2013), existen una categorización para la calidad del aire dependiendo del espacio, de esta categorización dependerán los niveles permitidos de los parámetros anteriormente mencionados.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Higienización: en los sistemas de agua sanitaria, se debe tener un control en el almacenamiento, transporte y temperatura del fluido, esto con el fin de evitar la propagación de la legionelosis, esto principalmente debe ser controlado en el agua para hospitales y centros de investigaciones y tratamientos tanto médicos como biológicos.
- Concentración de CO₂: las personas que ocupan un espacio acondicionado están constantemente produciendo CO₂, bien sea por funciones metabólicas o por la respiración. Estos niveles de concentración deben ser siempre monitoreados para evitar poner en riesgo la vida de los ocupantes. Esta concentración es medida en partes por millón (ppm)
- Caudal del aire: el caudal del aire es la cantidad de aire que ingresa al espacio en una unidad de tiempo, en los sistemas de HVAC el caudal del aire exterior se expresa en decímetros cúbicos sobre segundo por persona (dm³/(s persona)) o en pies cúbicos por minuto (CFM).
-

4.3 Normatividad aplicada a los sistemas HVAC

Los sistemas de HVAC deben seguir un conjunto de normas para su instalación, funcionamiento, mantenimiento y para garantizar la seguridad de las personas que habitan el espacio acondicionado.

4.3.1 RITE

El Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), tiene por objeto establecer las exigencias de eficiencia energética y seguridad que deben cumplir las instalaciones térmicas en los edificios destinadas a atender la demanda de bienestar e higiene de las personas, durante su diseño y dimensionado, ejecución, mantenimiento y uso, así como determinar los procedimientos que permitan acreditar su cumplimiento.(Energía, 2013).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

En esta norma se establecen los parámetros que se deben cumplir para la calidad del aire establecido en cuatro categorías:

- **CAI 1 (aire de óptima calidad):** hospitales, clínicas, laboratorios y guarderías.
- **CAI 2 (aire de buena calidad):** oficinas, residencias (locales comunes de hoteles y similares, residencias de ancianos y de estudiantes), salas de lectura, museos, salas de tribunales, aulas de enseñanza y asimilables y piscinas.
- **CAI 3 (aire de calidad media):** edificaciones comerciales, cines, teatros, salones de actos, habitaciones de hoteles y similares, restaurantes, cafeterías, bares, salas de fiestas, gimnasios, locales para el deporte y salas de computadores.
- **CAI 4 (aire de calidad baja)** Expresando así los niveles de concentración de CO₂, los parámetros para la filtración e higienización del aire, y el caudal del aire dependiendo de la dimensión del espacio y el factor de ocupación.

4.3.2 ISO 7730

Este estándar internacional abarca la evaluación de ambientes térmicos controlados. En esta se especifica la medición y evaluación para la moderación de los ambientes térmicos extremos a los que los seres humanos pueden ser expuestos. Además, se explica el concepto de confort térmico y se dan los parámetros para asegurar que los equipos y envolventes estarán en óptimas condiciones para todos las personas y elementos que se encuentren en dichos espacios. (Standard, 2005)

Esta normativa al estar enfocada en el confort térmico especifica la forma en la que esta es calculada usando el voto medio predicho (PMV de sus siglas en ingles Predicted mean vote) y el porcentaje de no satisfacción predicha (PPD de sus siglas en inglés Predicted percentage dissatisfied). Además, esta norma específica los ambientes y las condiciones

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

a las que estos deben permanecer para asegurar la salud y la comodidad de las personas que ocupan el espacio a condicionar.

4.3.3 ASHRAE

La ASHRAE o Sociedad americana de ingenieros en calentamiento y refrigeración, es una entidad la cual regula y estandariza todo lo relacionado con los sistemas de HVAC. Entre sus normas y estándares podemos encontrar los criterios para hallar el confort térmico, la calidad del aire, la humedad relativa que se debe manejar, la manipulación de los sistemas de agua para prevención de la legionelosis (bacteria que se produce en el agua). Esta organización a su vez cuenta con estándares de evaluación del estado energético enfocado a lograr sistemas eficientes y amigables con el medio ambiente. (American Society of Heating, 2001)

entre sus normas principales se encuentran:

- Estándar 62. 1 la cual establece todos los parámetros y condiciones óptimas para garantizar una calidad aceptable de aire en el interior.
- Estándar 188: se enfoca en el manejo correcto de los sistemas de agua para la prevención de la legionelosis.
- Estándar 189.1: es un estándar para el diseño de edificios amigables con el medio ambiente y de alta eficiencia.

4.4 estrategias de ahorro energético en sistemas HVAC

Las estrategias a continuación presentadas son recopiladas de distintos artículos, todas aplicadas a un caso de prueba demostrando así un porcentaje de ahorro real, evidenciado en los ensayos y simulaciones realizadas por los distintos autores. A continuación, se presentan todas las estrategias analizadas; para una mejor

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

comprensión de la información, se presentan las estrategias en una tabla de contenido, la cual ira organizada de la siguiente manera:

- **Título del estudio:** Nombre del artículo.
- **Resumen del estudio:** explica en qué consiste la estrategia y qué se quiere lograr.
- **Herramientas empleadas:** recursos físicos, instrumentación y software utilizados para llevar a cabo el estudio.
- **Técnicas – estrategias de ahorro para la carga eléctrica:** en este segmento es explicada la metodología empleada y la forma en la cual se reduce los niveles de consumo eléctrico.
- **Clasificación de la estrategia aplicada:** se explica por qué la estrategia aplicada es operativa o reconversión tecnológica.
- **Variables, parámetros y escenario de prueba:** se enuncian las variables involucradas y parámetros establecidos, además, se da una breve descripción del tipo de espacio de prueba usado para el estudio y/o aplicación de la estrategia.
- **Descripción de los resultados obtenidos:** en esta sección se enuncia el impacto cuantitativo que se obtiene al aplicar o simular la estrategia trabajada y se muestran datos justificados acerca de los beneficios de la aplicación.
- **Impactos de las configuraciones utilizadas sobre el consumo energético:** aquí se describe el ahorro energético que se puede llegar a obtener con la aplicación de la estrategia.

Tabla 1. Estrategia 1

Título del estudio: estrategia de ventilación eficiente para escenarios cambiantes y ahorro energético por medio de ventilación multi-modo (Shao, Li, Ma, & Liang, 2017)				
Resumen del estudio: Este artículo propone el uso de ventilación multi modo (MMV), esta estrategia de ventilación es dirigida a múltiples escenarios con la combinación de varios patrones de flujo de aire y dirigido a utilizar las ventajas individuales de cada patrón de flujo de aire para controlar escenarios específicos.				
Descripción de la metodología				
Herramientas empleadas	Técnicas- estrategias de ahorro para la carga eléctrica	Clasificación de la estrategia aplicada		Variables, parámetros y escenario de prueba
		Reconversión tecnológica	Estrategia operativa	
Software airpak	Se plantea el uso de distintos patrones de ventilación para escenarios cambiantes, se realiza el	Se realiza una estrategia operativa debido a que se debe realizar una reprogramación con los diferentes modos de		-Variables modificadas: +Temperatura interna de la edificación.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Herramientas matemáticas	<p>experimento cambiando el lugar de las fuentes de calor y se usan los distintos patrones, como lo son la velocidad del aire, el caudal de entrada, entre otros, para encontrar los más eficientes.</p> <p>Al hacer esto se encuentra que la combinación de dos patrones dependiendo de la configuración del espacio reduce la carga de enfriamiento. Estos patrones se establecen en los equipos los cuales van cambiando dependiendo de la carga térmica.</p> <p>Se requiere que el aire acondicionado, el cual provee el ducto primario sea distribuido en dos ductos secundarios los cuales tendrán dos dampers para controlar el flujo del suministro de aire.</p>	ventilación para cada unidad de aire variable.	<p>+Factor de ocupación +Caudal del aire de entrada +Velocidad del aire +Humedad relativa</p> <p>-parámetros:</p> <p>+temperatura externa de 30 °C.</p> <p>-Escenario de prueba:</p> <p>+salón de reuniones con medidas: Área 36m² x 4 metros de altura +Espesor de las paredes: 0.20 m con un coeficiente de transferencia de calor de 20 w/(m².K).</p>
--------------------------	--	--	--

Resultados y conclusiones

<i>Descripción de los resultados obtenidos</i>	<i>Impactos de las configuraciones utilizadas sobre el consumo energético</i>
<ul style="list-style-type: none"> - Los resultados arrojan que cada patrón actuando solo, puede ser eficiente para una cantidad determinada de escenarios - Mediante el uso del MMV, se puede proveer un mayor control de temperatura, humedad y concentración de la contaminación sin importar el cambio en los espacios acondicionados usando una cantidad menor de energía. 	<p>El MMV demuestra un aproximado de 56.8% en la reducción de la carga de enfriamiento.</p>

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

<p>- Al disminuir la carga de enfriamiento el consumo energético disminuiría de manera proporcional al alterar el COP</p>	
---	--

Tabla 2. Estrategia 2

<p>Título del estudio: estudio experimental de sistemas de control de aire acondicionado para ahorro energético en edificios (Nasution, Sumeru, Aziz, & Senawi, 2014)</p>				
<p>Resumen del estudio: este artículo trata métodos independientes de control para sistemas de aire acondicionado, se abordan cuatro distintos métodos los que se basan en el encendido y apagado del compresor.</p>				
<i>Descripción de la metodología</i>				
<i>Herramientas empleadas</i>	<i>Técnicas- estrategias de ahorro para la carga eléctrica</i>	<i>Clasificación de la estrategia aplicada</i>		<i>Variables, parámetros y escenario de prueba</i>
		Reconversión tecnológica	x	
<p>+Instrumentos de medida de temperatura y humedad</p> <p>+2 compresores de 7kW y 5kw</p> <p>+Controlador digital</p> <p>+Variador de frecuencia</p> <p>+Computador con software de control.</p>	<p>Los métodos que el autor usa para lograr esta reducción de potencia eléctrica son cuatro: Control on/off por termostato, control on/off digital, control on/off digital por computador (DPC) y control por lógica difusa (FLC). Por medio de estos cuatro métodos se controla el encendido y apagado de los compresores.</p>	<p>Se habla de reconversión tecnológica debido a que para lograr implementar cualquiera de los sistemas de control, se deben instalar nuevos equipos e intervenir las líneas de potencia. Por otro lado, como en los casos 1 y 2 solo se usa control on/off, podemos hablar de estrategia operativa</p>		<p>-Variables modificadas:</p> <p>+Potencia eléctrica consumida</p> <p>+Frecuencia de alimentación</p> <p>-parámetros:</p> <p>+Caudal de entrada del aire</p> <p>+Temperatura de prueba: 22°C, 23°C y 24°C</p> <p>-escenario de prueba:</p> <p>+ Laboratorio de prueba área condicionada: 234,7 m²</p> <p>Dimensiones del espacio total: 28.9m x 9.5m</p>

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Resultados y conclusiones	
<i>Descripción de los resultados obtenidos</i>	<i>Impactos de las configuraciones utilizadas sobre el consumo energético</i>
<p>Al usar control de encendido apagado se reduce en gran medida el consumo del compresor. La estrategia que más ahorro muestra es la de control lógico difuso, al variar la potencia del compresor dependiendo de la carga térmica, lo que vuelve el sistema más eficiente tanto térmica como eléctricamente. Los resultados se comparan con el control por termostato simple.</p>	<p>Porcentajes de ahorro energético: Control on/off: 23 a 50%. DPC: 37 a 51%. FLC: 48 a 78%.</p>

Tabla 3. Estrategia 3

Título del estudio: estudio comparativo del efecto de ahorro energético para sistemas de aire acondicionado por medio del uso de vapor comprimido de aire enfriado (Vakiloroaya, Samali, & Pishghadam, 2014)				
Resumen del estudio: en el artículo se tratan dos estrategias de ahorro las cuales intervienen en la compresión del vapor de aire usando la amplificación de la presión del líquido (LPA) y el condensador de enfriamiento evaporador (ECC), proponiendo además la unión de estas dos estrategias para lograr un ahorro mayor. Las cuales fueron evaluadas en cargas transitorias para sistemas de aire acondicionado de techo usado normalmente en edificaciones terciarias ubicadas en climas cálidos y secos.				
Descripción de la metodología				
Herramientas empleadas	Técnicas- estrategias de ahorro para la carga eléctrica	Clasificación de la estrategia aplicada		Variables, parámetros y escenario de prueba
		Reconversión tecnológica	x	
Software de simulación transitoria TRNSYS	Al ser el compresor el elemento del sistema de aire acondicionado que más consume energía se hace necesario intervenir el sistema para disminuir tanto la carga de enfriamiento como el tiempo y la potencia del mismo. Las dos estrategias aplicadas para dicha reducción son:	Se considera reconversión tecnológica debido a que el circuito del chiller debe ser intervenido para incluir los sistemas que el artículo propone.		<p>-Variables modificadas:</p> <p>+Presión eléctrica consumida</p> <p>-Parametros</p> <p>-Temperatura de referencia</p> <p>-Escenario de prueba:</p>

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

	<p>Condensador de enfriamiento evaporador (ECC): al incluir este elemento en el sistema se propone el pre-enfriamiento del aire antes de entrar al serpentín de condensador lo que se ve reflejado en un mayor rechazo del calor, disminuyendo la carga de enfriamiento y el tiempo de operación del compresor.</p> <p>Amplificación de la presión del líquido (LPA): se instala una bomba antes del compresor, la cual se encarga de mantener una alta presión al pasar el fluido de la válvula de expansión. La bomba a su vez se encarga de incrementar la presión del líquido refrigerante que sale del condensador. Esto haría que el compresor deba invertir menos potencia al disminuir la relación de compresión.</p>	<p>+Área del espacio condicionado 325 m² altura de 3 m</p> <p>+Tiempo de operación 8 am – 10 pm</p> <p>+Paredes de espesor 417 mm coeficiente de 1.145 W/m²K.</p> <p>+Piso espesor 305 mm coeficiente de 2.809 W/m²K.</p> <p>+Ventanas: Área norte 14,4 m² Área sur 21,6 m² Área oeste 40 m² Tipo doble cristal Coeficiente 2.58 W/m²K.</p>
--	---	---

Resultados y conclusiones

<i>Descripción de los resultados obtenidos</i>	<i>Impactos de las configuraciones utilizadas sobre el consumo energético</i>
<p>Este artículo fue enfocado a sistemas de aire acondicionado instalados en techo en edificaciones terciarias enfocados en reducir la relación de compresión, reduciendo así el consumo de carga eléctrica y el gasto innecesario de energía.</p> <p>Usando modelos de teoría matemática con datos monitoreados del sector de prueba es posible el llegar a la conclusión del gran</p>	<p>Comparado con sistemas en los cuales no se realiza intervención alguna con la presión se concluye que: Con la estrategia de amplificación de la presión del líquido (LPA) se logra un ahorro del 25,3%</p> <p>Con el condensador de enfriamiento evaporador se logra un ahorro del 18,3%</p> <p>Con la combinación de los dos se logra un ahorro del 44,2%</p>

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

ahorro energético que se tiene con las dos estrategias (LPA y ECC), demostrando así que la combinación de las mismas se refleja en un mayor ahorro.	
---	--

Tabla 4. Estrategia 4

<p>Título del estudio: potencial de ahorro energético de sistemas de ventilación con unidad de almacenamiento de energía térmica bajo diferentes condiciones climáticas. (Chen, Zhang, & Zhai, 2016)</p>				
<p>Resumen del estudio: debido a que en verano se necesita más energía para lograr el correcto enfriamiento de la envolvente, se propone el aprovechamiento del frío de la noche, esto se logra por medio de unidades de almacenamiento térmico de calor latente (LHTES). Este artículo relaciona además el cambio de fase del material del LHTES dependiendo de la temperatura del ambiente y las variaciones que está presente a lo largo del día, para así lograr un sistema más eficiente.</p>				
Descripción de la metodología				
<i>Herramientas empleadas</i>	<i>Técnicas- estrategias de ahorro para la carga eléctrica</i>	<i>Clasificación de la estrategia aplicada</i>		<i>Variables, parámetros y escenario de prueba</i>
		Reconversión tecnológica	X	
Sistema de modelo computacional de transferencia de calor. Herramientas matemáticas para el calculo	La unidad de almacenamiento térmico de calor latente recoge en la noche, por medio de la recirculación del aire exterior, el frío del ambiente para usarlo en la fase de operación en el día para enfriar el aire que ingresara al sistema disminuyendo así la carga de enfriamiento y la cantidad de aire y energía necesaria para llevar la envolvente a la temperatura necesaria. Se realiza la evaluación en 8 ciudades ubicadas en 4 zonas climáticas distintas de china en las cuales la temperatura varia de manera significativa. El caso de prueba se realiza en los meses de	Se considera reconversión tecnológica debido a que se debe integrar al sistema de aire acondicionado la unidad que almacena la energía térmica.		<p>-Variables modificadas:</p> +Temperatura del aire de suministro +Potencia eléctrica consumida
				<p>-parámetros</p> +Temperatura de punto de referencia, 26°C
				<p>-escenario de prueba</p> +8 ciudades ubicadas en 4 zonas climáticas distintas +se usa el mismo tipo de edificio en las diferentes zonas.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

	julio y agosto el cual es la temporada de verano para analizar esta estrategia en la época en la que más consumo de aire de suministro existe y en el que las cargas pico aumentan.		
Resultados y conclusiones			
<i>Descripción de los resultados obtenidos</i>	<i>Impactos de las configuraciones utilizadas sobre el consumo energético</i>		
Al implementar esta estrategia se encuentra que, aunque es necesaria una mayor potencia de ventilación, esta es insignificante en relación con la potencia ahorrada. Se encuentra que en los sitios en los cuales de noche existe una menor temperatura externa, es mayor el ahorro que se encontrara sin importar la temperatura externa en el tiempo de operación en el día.	Se encuentra que esta estrategia de ahorro puede presentar un porcentaje de ahorro energético desde el 26% hasta el 165% con un porcentaje promedio general de un 68%. En términos de energía, se puede reducir el consumo en un valor medio de 53 KWh		

Tabla 5. Estrategia 5

Título del estudio: estrategias de ahorro energético enfocadas en los puntos de referencia de la temperatura y las zonas muertas teniendo en cuenta la estructura y las propiedades del sistema.(Ghahramani, Zhang, Dutta, Yang, & Becerik-Gerber, 2016)					
Resumen del estudio: diversos estudios han sido realizados en los últimos años sobre el ahorro energético alcanzado por medio de la ampliación del rango de la zona muerta en torno al punto de referencia de la temperatura en los sistemas de HVAC, en este caso se propone el estudio en diversas zonas teniendo en cuenta tres diferentes tipos de edificaciones, para de este modo relacionar esta estrategia de ahorro con la construcción de la envolvente, debido a que la carga térmica no solo depende de los ocupantes, también depende de la forma de construcción distribución del espacio y tipos de materiales con la que esta fue erigida.					
Descripción de la metodología					
<i>Herramientas empleadas</i>	<i>Técnicas- estrategias de ahorro para la carga eléctrica</i>	<i>Clasificación de la estrategia aplicada</i>			<i>Variables, parámetros y escenario de prueba</i>
		Reconversión tecnológica		Estrategia operativa	
-Software EnergyPlus -Software de simulación transitoria TRNSYS	La estrategia consiste en determinar, dependiendo de las condiciones climáticas externas y el factor de ocupación, el punto de referencia y el rango de	Se considera estrategia operativa debido a que solo es necesario programar los puntos de referencia y tiempos de apagado en las unidades que entregan el aire acondicionado a la envolvente.			-Variables: +tiempos de encendido y apagado de los sistemas HVAC.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

-N-way analysis of variance (ANOVA)	<p>zona muerta del sistema de HVAC. Esto se hace con el fin de disminuir los tiempos en los cuales el equipo esta encendido. se conoce como zona muerta el rango de tolerancia que maneja el punto de referencia sin encender el equipo.</p>	<p>Para reducir el consumo energético, sin la necesidad de intervenir los equipos.</p>	<p>-parámetros</p> <p>+Temperatura de referencia</p> <p>+Zona muerta</p> <p>-Escenario de prueba</p> <p>16 edificios de oficinas cada una de ellas establecida en una zona climática distinta Información sobre edificaciones extraída de bases de datos sobre edificaciones del Departamento de la Energía (DOE)</p>
Resultados y conclusiones			
<i>Descripción de los resultados obtenidos</i>		<i>Impactos de las configuraciones utilizadas sobre el consumo energético</i>	
<p>Se encuentra que la zona muerta no guarda relación con la temperatura externa, por lo cual en condiciones normales este parámetro puede ser de 6°C, lo que disminuye el tiempo de operación del sistema y por lo tanto consume menos energía.</p> <p>El tamaño del edificio está ligado directamente a la temperatura optima de referencia, entre mayor sea el espacio mayor será este valor</p> <p>En algunos casos, como el de las zonas relativamente frías, la selección de un punto de referencia optimo diario logra un mayor ahorro comparado con puntos de referencia óptimos anuales.</p>		<p>El potencial de ahorro al seleccionar puntos de referencia con una zona muerta de +/- 3°C en diferentes zonas climáticas y para diferentes tamaños de edificios, puede variar entre:</p> <p>Para edificios pequeños de 10.09 a 37.03% Para edificios medianos de 11.43 a 21.01% Para edificios grandes de 6.78 a 11.34%</p> <p>Escoger una zona muerta diaria dependiendo de la zona climática entre 0,1,2,4,5 y 6 grados centígrados, resulta en un ahorro del -70%, -34.9%, -13.7%, 9.6%, 16.4% y 21.2% respectivamente, comparado a una línea base de 3 grados centígrados.</p>	

Tabla 6. Estrategia 6

Título del estudio: ahorro energético por medio de control integrado de ventilación natural y sistemas de HVAC usando una guía de modelo comparativo. (Homod, Sahari, & Almurib, 2014)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Resumen del estudio: este documento trata de la implementación de una estrategia que combina la ventilación natural con los sistemas de HVAC existentes, se compara con la ventilación normal y con el método convencional para encontrar de esta manera el porcentaje de ahorro que se puede lograr. Esta estrategia se enfoca en mantener el confort térmico controlando la entalpia del aire interno y la salida de aire.

Descripción de la metodología

Herramientas empleadas	Técnicas- estrategias de ahorro para la carga eléctrica	Clasificación de la estrategia aplicada				Variables, parámetros y escenario de prueba
		Reconversión tecnológica		Estrategia operativa	X	
Guía de modelo comparativo (MGFC) Confort térmico establecido por medio del: Voto promedio predicho (PMV) de los ocupantes.	Se plantea el uso de ventilación natural, la cual al mezclarse con el aire de la unidad manejadora y ser enviado a la envolvente, reduce la carga térmica sin afectar la entalpia del aire y por lo tanto sin afectar el confort térmico. Su usa la herramienta de lógica difusa para la activación del fan coil, esta activación depende de la carga térmica y la temperatura del medio. El control por lógica difusa varia la velocidad del ventilador dependiendo de la variación de la carga	Se considera estrategia operativa debido a que se controlan las variables sin necesidad de intervenir físicamente los equipos.				-Variables: +salida del aire +entalpia del aire +Potencia eléctrica consumida -parámetros +clima +temperatura externa +factor de ocupación -Escenario de prueba + edificio residencial, con medidas: -4,5 m de altura. -248.6 m2 de área. -126.2 m2 de área neta para ventanas y paredes expuestas -468.7 m3 de volumen total.

Resultados y conclusiones

Descripción de los resultados obtenidos	Impactos de las configuraciones utilizadas sobre el consumo energético
Este estudio se diseñó para ser aplicado en edificios dedicados a la industria textil.	Porcentajes de ahorro: Se encuentra que con el método propuesto de ventilación natural integrada al sistema HVAC es posible obtener un ahorro energético del 31,6%

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

<p>En zonas climáticas en las cuales la temperatura está por encima de 33.5 o debajo de 10°C es inevitable el uso de sistemas de HVAC</p> <p>La sensación térmica lograda con esta estrategia se encuentra en los valores aceptados por la ASHRAE reduciendo de esta manera el riesgo por sobrecalentamiento al evitar un aumento del PMV.</p> <p>Al realizar el estudio y los cálculos sobre la potencia consumida se encuentra que el sistema HVAC a condiciones nominales consume 278.5 KWh/d, un consumo de 235.1 KWh/d para los sistemas integrados convencionales y un consumo de 190.4 KWh/d por el método propuesto.</p>	
--	--

Tabla 7. Estrategia 7

<p>Título del estudio: ahorro energético en rendimiento y costos para bombas de calor de CO₂ y NH₃ con aplicación simultanea de enfriamiento y calentamiento en procesos alimenticios. (Liu, Groll, Yazawa, & Kurtulus, 2016)</p>				
<p>Resumen del estudio: el artículo se enfoca en el análisis de 4 sistemas de bombas de calor, dos con NH₃ (amoníaco) y dos con CO₂ (dióxido de carbono), identificando para cada caso de prueba cual es el sistema eficiente. Se implementan 7 casos de prueba: elaboración de cerveza, pasteurización de la comida, procesamiento de la leche, producción de quesos, conservas de frutas y vegetales, jugo enlatado y matanza de aves de corral. En cada uno de estos procesos se analizan los 4 sistemas siendo el sistema 1 el convencional (el cual usa una caldera para la parte de calentamiento). El estudio va dirigido a cuatro ciudades en específico las cuales son: california, Wisconsin, nueva york y florida.</p>				
Descripción de la metodología				
<i>Herramientas empleadas</i>	<i>Técnicas- estrategias de ahorro para la carga eléctrica</i>	<i>Clasificación de la estrategia aplicada</i>		<i>Variables, parámetros y escenario de prueba</i>
		Reconversión tecnológica	x	
Software EES	Se realiza el estudio para determinar el sistema más eficiente para cada caso de prueba, en cada uno de ellos es necesario tanto el enfriamiento como el calentamiento del agua. Por lo que se	Se considera reconversión tecnológica debido a que se deben instalar nuevos equipos para efectuar la estrategia propuesta.		<p>-Variables:</p> <p>+Cantidad de calor expulsado a la atmosfera</p> <p>+Cantidad de combustible consumida</p> <p>+Potencia eléctrica</p> <p>-parámetros</p>

	<p>plantea encontrar un sistema que sea eficiente tanto en el consumo de energía eléctrica, como térmica (consumo de gas)</p> <p>Sistema 1: sistema convencional, cuenta con circuito de refrigeración normal por NH3 y se le añade la caldera para realizar el ciclo de calentamiento.</p> <p>Sistema 2: bomba de calor de dos fases por amoníaco con sistema intercooler cerrado.</p> <p>Sistema 3: sistema propuesto de bomba de calor por CO2, esté cuanta con un intercambiador de calor interno y dos refrigeradores por gas. Uno se encarga del agua tibia (25-71°C) y el segundo del agua caliente (72-100°C)</p> <p>Sistema 4: segundo sistema propuesto de bomba de calor por CO2, esta cuenta con dos intercambiadores internos de calor. En este sistema el refrigerador por gas uno se encarga del agua tibia y el segundo (recibiendo</p>	<p>+Temperatura requerida del agua para el proceso +Temperatura del agua de entrada 16°C</p> <p>-escenario de prueba</p> <p>+plantas para procesamiento y producción de alimentos dedicados a</p> <p>-elaboración de cerveza (caso 1) -pasteurización de la comida (caso 2) -procesamiento de la leche (caso 3) -producción de quesos (caso 4) -Conservas de frutas y vegetales (caso 5) -enlatado de jugo (caso 6) -matanza de aves de corral (caso 7)</p>
--	---	--

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

	agua tibia del primero) se encarga del agua caliente		
Resultados y conclusiones			
<i>Descripción de los resultados obtenidos</i>		<i>Impactos de las configuraciones utilizadas sobre el consumo energético</i>	
<p>Caso 1: los dos tipos de bombas de calor por CO2 pueden ahorrar más energía primaria que los de NH3.</p> <p>Caso 2: en este caso, debido a que solo se requiere agua caliente, el sistema 3 y el 4 presentaría un consumo elevado, por lo que el ideal sería el sistema 2</p> <p>Caso 3: debido a que la carga de calentamiento es más baja que la de refrigeración, el sistema 2 y 4 pueden mantener esa demanda calórica sin la necesidad de usar caldera por un año. El sistema 2 en este caso presentaría un consumo excesivo de energía por lo que no es una opción.</p> <p>Caso 4: en este caso la carga de calentamiento es menor comparada con el caso uno por lo que las tasas de ahorro energético disminuirían.</p> <p>Caso 5: debido a que en ese caso existe una mayor carga de calentamiento se hace necesario el uso de la caldera, por lo que el consumo de gas predomina en el consumo total.</p> <p>Caso 6: en este caso la carga de calentamiento es significativamente alta comparada con la de enfriamiento, por lo que se debe usar la caldera para ayudar al sistema</p> <p>Caso 7: comparado con el caso 4, se requiere menor capacidad de calentamiento de las bombas, por lo que las tasas de ahorro energético disminuirían. El sistema 2 solo ahorraría energía en florida mientras que el sistema 3 sería el más eficiente para este caso.</p>		<p>Caso 1: el sistema 3 es el más eficiente para este caso con un ahorro aproximado por encima del 44%</p> <p>Caso 2: el sistema 2 sería el más eficiente con un ahorro por encima del 30% del costo primario de energía</p> <p>Caso 3: el sistema 3 es el más eficiente en florida con un ahorro del 19% del costo primario anual, en las otras 3 locaciones el sistema 4 es el más indicado al ahorrar entre 30 a 35% de energía.</p> <p>Caso 4: en este caso el sistema 3 es el más eficiente con un ahorro de 34 a 37% de la energía anual primaria consumida.</p> <p>Caso 5: con los sistemas propuestos de CO2 se lograría un ahorro de tan solo 12 a 15% para este caso</p> <p>Caso 6: con los sistemas propuestos de CO2 se lograría un ahorro de tan solo 4 a 6% para este caso</p> <p>Caso7: con la implementación del sistema 3 se lograría un ahorro del 25% del consumo anual de energía primaria.</p>	

Tabla 8. Estrategia 8

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Título del estudio: simulación de potencial de ahorro energético de sistemas centralizados de HVAC en edificios académicos usando técnica de enfriamiento adaptativa (Bhaskoro, Gilani, & Aris, 2013)

Resumen del estudio (en cortas palabras): el artículo va enfocado a encontrar el potencial de ahorro para un edificio dedicado a la parte académica. El potencial de ahorro se deduce al comparar la estrategia propuesta del sistema adaptativo con el sistema convencional. Este sistema lo que busca es encontrar los puntos de referencia para el aire acondicionado dependiendo de la temperatura externa, buscando siempre el confort térmico de los ocupantes.

Descripción de la metodología

Herramientas empleadas	Técnicas- estrategias de ahorro para la carga eléctrica	Clasificación de la estrategia aplicada				Variables, parámetros y escenario de prueba
		Reconversión tecnológica		Estrategia operativa	X	
Software TRNSYS	<p>El ahorro energético se busca a través de la capacidad que tienen las personas para adaptarse a la temperatura del espacio en el que están. Al ir cambiando la temperatura del aire con relación a la temperatura externa, tenemos un menor consumo de energía al tener que invertir menos tiempo y menos potencia en llegar a los nuevos setpoints los cuales varían en pequeña medida en relación con la temperatura externa sin afectar el confort térmico de los ocupantes.</p> <p>El equipo que se encuentra instalado es un sistema centralizado de HVAC con chiller para cubrir la demanda de la carga térmica.</p>	Se considera estrategia operativa debido a que se debe programar el equipo instalado sin intervenirlo.				<p>-Variables:</p> <p>+tiempos de encendido del sistema</p> <p>-parámetros</p> <p>+Temperatura interna +puntos de referencia</p> <p>-Escenario de prueba:</p> <p>se escoge un bloque académico ubicado en la universidad Teknologi PETRONAS ubicada en Malasia. Este edificio académico tiene fachada 100% de vidrio. Cada bloque tiene 3 niveles con altura de 4 metros cada uno, y cada nivel cuenta con dos alas en las que se encuentran espacios de laboratorios, talleres y salones de clases.</p>

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Resultados y conclusiones	
<i>Descripción de los resultados obtenidos</i>	<i>Impactos de las configuraciones utilizadas sobre el consumo energético</i>
<p>El estudio va enfocado a su vez a edificios con ocupación intermitente.</p> <p>El confort térmico de los ocupantes no se ve afectado al irse variando el punto de referencia con base en la adaptación biológica al medio externo.</p>	<p>Los porcentajes de ahorro varían dependiendo de la zona y el tiempo de ocupación.</p> <p>Los porcentajes y datos de potencia presentado a continuación son estimados con relación a la reducción de la carga térmica</p> <p>Los talleres presentan una reducción en el consumo aproximada de 9370.58KWh y un 49.44%</p> <p>Los salones de clase presentan una reducción en el consumo aproximada de 4267.11 KWh y un 42.79%</p> <p>Las oficinas presentan una reducción en el consumo aproximada de 871.8 KWh y un 5.4%</p>

Tabla 9. Estrategia 9

<p>Título del estudio: Potencial de ahorro energético de sistema de dos tubos para enfriamiento y calentamiento simultaneo en edificios de oficinas(Maccarini et al., 2017)</p>				
<p>Resumen del estudio (en cortas palabras): este artículo analiza la actuación de un nuevo sistema de dos tubos el cual opera de manera simultánea usando un único lazo de agua, entregando al espacio una temperatura de suministro de agua de 22°C. se realiza la comparación con el sistema convencional de cuatro tubos por medio de métodos de cálculo, modelado en lenguaje Dymola y softwares de simulación.</p>				
Descripción de la metodología				
<i>Herramientas empleadas</i>	<i>Técnicas- estrategias de ahorro para la carga eléctrica</i>	<i>Clasificación de la estrategia aplicada</i>		<i>Variables, parámetros y escenario de prueba</i>
		Reconversión tecnológica	x	
<p>-Softwares de simulación</p> <p>-Herramientas de cálculo.</p>	<p>El nuevo sistema de 2 tubos manejado por un solo lazo de agua, permite manejar el enfriamiento y calentamiento de un espacio al tiempo.</p> <p>Para lo cual la manipulación temperatura del agua dependerá de la carga de enfriamiento, para esto se utiliza un controlador PI el cual varia los setpoints y permite un sistema más eficiente. El agua de retorno vuelve a la</p>	<p>Se reconoce esta estrategia como reconversión tecnológica, debido a que se tiene cambiar de sistema de 4 tubos a 2 tubos para aplicar la estrategia planteada.</p>		<p>-Variables modificadas:</p> <p>+Temperatura de la envolvente.</p> <p>-Parámetros</p> <p>+Puntos de referencia de enfriamiento y calentamiento</p> <p>-escenario de prueba</p> <p>+área: 1660 m2</p> <p>+propiedades térmicas extraídas de la ASHRAE 90.1 2004 y 2013.</p>

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

	<p>unidad manejadora para reestablecer la temperatura estándar, el calor latente y el aire de retorno es distribuido hacia la unidad manejadora para reducir la energía utilizada por la misma.</p> <p>Se realizan 4 casos de prueba para determinar el ahorro, estos se basan en el ASHRAE</p> <p>1 ASHRAE 90.1 2004: sin puertas</p> <p>2 ASHRAE 90.1 2013: sin puertas</p> <p>3 ASHRAE 90.1 2004: con las puertas abiertas</p> <p>2 ASHRAE 90.1 2013: con las puertas abiertas</p>		
Resultados y conclusiones			
<i>Descripción de los resultados obtenidos</i>		<i>Impactos de las configuraciones utilizadas sobre el consumo energético</i>	
<p>Las simulaciones demuestran que el sistema de dos tubos en relación con el de cuatro tubos, al manejar un solo lazo de agua, requiere menos consumo de energía en la adaptación del agua.</p> <p>Se evidencia que en los casos con las puertas abiertas se presenta un bajo potencial de ahorro energético comparado con los casos 1 y 2. Esto se debe a que estos últimos poseen un flujo de aire interno lo que permite una transferencia pasiva de calor del centro a las paredes de la envolvente.</p>		<p>El sistema de 2 tubos para los cuatro casos enunciados reduce el uso de energía primaria en relación con el sistema convencional de 4 tubos en:</p> <p>Caso 1: 46%</p> <p>Caso 2: 52%</p> <p>Caso 3: 40%</p> <p>Caso 4: 45%</p>	

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Tabla 10. Estrategia 10

<p>Título del estudio: Controlador de humedad de bajo costo para sistemas de aire acondicionado, para lograr ahorro energético en clima tropical(Aziz, Sumiyoshi, & Akashi, 2017)</p>				
<p>Resumen del estudio: Debido a que en las zonas tropicales tanto la humedad como la carga térmica se eleva naturalmente, es necesario la adaptación de un sistema que controle la humedad relativa de los espacios acondicionados y mantenga la temperatura en el punto de referencia establecido sin comprometer el confort térmico. Por lo tanto, se propone la instalación de un sistema llamado unidad manejadora dual, logrando ahorro energético comparado con sistemas convencionales. Para determinar el ahorro se realiza la simulación con los datos climáticos de Kuala Lumpur.</p>				
<p>Descripción de la metodología</p>				
Herramientas empleadas	Técnicas- estrategias de ahorro para la carga eléctrica	Clasificación de la estrategia aplicada		Variables, parámetros y escenario de prueba
		Reconversión tecnológica	x	
<p>La simulación se realiza por medio de programas dedicados a los sistemas de HVAC también se usa un algoritmo dinámico para el estudio de las variaciones de la carga térmica.</p> <p>HASP/ACLD/8501</p>	<p>La estrategia consiste en la instalación de dos unidades manejadoras en paralelo, la primera se encarga de mantener la temperatura del cuarto en el nivel establecido y la segunda de remover la humedad del espacio acondicionado y el calor latente. Para su implementación se requiere de un sensor de humedad, el cual se encargará de la activación de la segunda unidad manejadora.</p>	<p>Se considera reconversión tecnológica debido a que es necesario instalar una unidad manejadora extra.</p>		<p>-Variables modificadas:</p> <p>+humedad relativa +temperatura del espacio.</p> <p>-parámetros</p> <p>+ temperatura de referencia + factor de ocupación</p> <p>-escenario de prueba</p> <p>+se realiza la simulación de un edificio común rectangular con dos puertas y tres ventanas con área total de 800 m2.</p>
<p>Resultados y conclusiones</p>				
<p>Descripción de los resultados obtenidos</p>		<p>Impactos de las configuraciones utilizadas sobre el consumo energético</p>		
		<p>El sistema propuesto presenta un ahorro energético entre 10,7% a 13.2%, comparado con el sistema tradicional.</p>		

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

<p>Se encuentra que la unión de las dos unidades mejora el confort térmico y a su vez ahorra energía.</p> <p>La instalación de la unidad manejadora extra supone un bajo costo debido a que se adapta al sistema ya existente. No es necesario el cambio de ductos o de VAV.</p>	
--	--

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

5 CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

CONCLUSIONES:

La identificación del estado energético depende directamente de la potencia consumida por el equipo, esta varia a medida que el sistema se vuelve más complejo, o por la operación que se le esté dando al mismo. Al hablar de consumo energético es primordial a la hora de analizar qué estrategia de ahorro usar, determinar cómo es la calidad del aire o del agua, el proceso de recirculación, como está distribuido en la identificación y sus tiempos de operación. A partir de estos datos es posible determinar la mejor estrategia a aplicar. Vale la pena mencionar que en todo caso de reconversión tecnológica se deben cumplir las normas establecidas para estos tipos de sistemas, esto para evitar poner en riesgo a las personas que habitan el espacio condicionado, garantizando siempre el confort térmico lo cual es la principal función de este sistema.

En este trabajo se presentan diversas alternativas de ahorro energético para los sistemas HVAC. Dichas estrategias fueron divididas en dos, estrategias operativas y de reconversión tecnológica. Con esto se demuestran las diferentes formas de convertir los sistemas HVDC existentes de bajo rendimiento en sistemas eficientes.

De las estrategias operativas es posible lograr un ahorro energético desde 23% a 49%, en estas se manipula en la mayoría el punto de referencia de encendido y apagado de los equipos de climatización, lo que hace que los tiempos de operación de los equipos disminuyan.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Para las estrategias en las cuales es necesario realizar una reconversión tecnológica, se encuentran distintos porcentajes de ahorro los cuales varían desde un 13,2% hasta más del 100%. En estas se manipulan más variables, y se requiere muchas veces de la instalación de equipos costosos y complejos, como es el caso de la estrategia 4; la cual requiere de un equipo de almacenamiento de calor que aumenta la complejidad del sistema, pero que a mediano plazo puede retribuir la inversión realizada, debido al ahorro que presenta.

Para los sistemas de agua caliente sanitaria existen diferentes configuraciones las cuales pueden representar un ahorro del 4% al 44%, aplicando estrategias de reconversión tecnológica.

RECOMENDACIONES:

En la realización de este trabajo de investigación, se pudo notar que no existen muchas estrategias de ahorro para los sistemas de ACS, siendo la mayoría de las estrategias enfocadas a los sistemas de aire acondicionado y calefacción. Por lo cual se sugiere ampliar la investigación en estos tipos de sistemas.

Los sistemas de HVAC son bastante complejos por lo que en la explicación de los elementos se pudo haber omitido algunos equipos secundarios como válvulas, ventiladores auxiliares, etc., que extenderían notoriamente el documento de ser añadidos en su totalidad. Por lo cual según la aplicación del sistema HVAC bajo análisis, se recomienda ampliar su información.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

TRABAJO FUTURO:

Realizar la aplicación de una de las estrategias mencionadas a un edificio o espacio existente en la ciudad de Medellín, con el fin de encontrar el sistema más eficiente y la mejor forma de operación para espacios ubicados en esta zona o en lugares con un ambiente similar.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

REFERENCIAS

- American Society of Heating, R. and A.-C. E. (2001). *2001 ASHRAE Handbook: Fundamentals ASHRAE HANDBOOK FUNDAMENTALS SYSTEMS-INTERNATIONAL METRIC SYSTEM ASHRAE handbook*.
- ATECYR, (Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración). (2010). Guía técnica de agua caliente sanitaria central. In *Ahorro y Eficiencia Energética en la Climatización* (p. 134). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Aziz, A. A., Sumiyoshi, D., & Akashi, Y. (2017). Low cost humidity controlled air-conditioning system for building energy savings in tropical climate. *Journal of Building Engineering*, 11(August 2016), 9–16. <https://doi.org/10.1016/j.job.2017.03.005>
- Barnes, E., & Parrish, K. (2016). Small buildings, big impacts: The role of small commercial building energy efficiency case studies in 2030 Districts. *Sustainable Cities and Society*.
- Bhaskoro, P. T., Gilani, S. I. U. H., & Aris, M. S. (2013). Simulation of energy saving potential of a centralized HVAC system in an academic building using adaptive cooling technique. *Energy Conversion and Management*, 75, 617–628. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.06.054>
- Center for sustainable system. (2016). Commercial Buildings. *ASHRAE Journal*, 42(November), 4–5.
- Chen, X., Zhang, Q., & Zhai, Z. (John). (2016). Energy saving potential of a ventilation system with a latent heat thermal energy storage unit under different climatic conditions. *Energy and Buildings*, 118, 339–349. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.02.049>
- Energia, S. de estado y. (2013). Reglamento De Instalaciones Termicas En Los Edificios.
- Ghahramani, A., Zhang, K., Dutta, K., Yang, Z., & Becerik-Gerber, B. (2016). Energy savings from temperature setpoints and deadband: Quantifying the influence of building and system properties on savings. *Applied Energy*, 165, 930–942. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.12.115>
- Homod, R. Z., Sahari, K. S. M., & Almurib, H. A. F. (2014). Energy saving by integrated control of natural ventilation and HVAC systems using model guide for comparison. *Renewable Energy*, 71, 639–650. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.06.015>
- Hong, T., Piette, M., Chen, Y., Lee, S., Taylor-Lange, S., Zhang, R., & Price, P. (2015). Commercial building energy saver: an energy retrofit analysis toolkit. *Applied Energy*.
- Kissell, T. E. (2008). *Electricity, electronics and control systems for HVAC*.
- Liu, Y., Groll, E. A., Yazawa, K., & Kurtulus, O. (2016). Theoretical analysis of energy-saving performance and economics of CO₂ and NH₃ heat pumps with simultaneous cooling and

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

heating applications in food processing. *International Journal of Refrigeration*, 65, 129–141.
<https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2016.01.020>

Maccarini, A., Wetter, M., Afshari, A., Hultmark, G., Bergsøe, N. C., & Vorre, A. (2017). Energy saving potential of a two-pipe system for simultaneous heating and cooling of office buildings. *Energy and Buildings*, 134, 234–247.
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.10.051>

Nasution, H., Sumeru, K., Aziz, A. A., & Senawi, M. Y. (2014). Experimental study of air conditioning control system for building energy saving. *Energy Procedia*, 61, 63–66.
<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.11.907>

RETIE. (2013). RETIE resolución 9 0708 de agosto 30 de 2013 con sus ajustes. *Resolucion 90708*, 127.

Shao, X., Li, X., Ma, X., & Liang, C. (2017). Multi-mode ventilation: An efficient ventilation strategy for changeable scenarios and energy saving. *Building and Environment*, 115, 332–344.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.01.032>

Standard, I. (2005). ISO 7730.

Suárez, J. A., Mauro, G. F. Di, & Agüero, D. A. C. (2005). Análisis de la distorsión armónica y los efectos de atenuación y diversidad en áreas residenciales, 3(5), 429–435.

Superior, E. P., Carlos, J., & Prada, G. (2011). Departamento de Ingeniería Mecánica Estudio y diseño del sistema de iluminación de un centro de uso general.

Trane. (2004). Introduction to HVAC Systems. *Trane, a Business of American Standard Companies*.

Turner, W., & Steve, D. (2007). *Energy Management Handbook*.

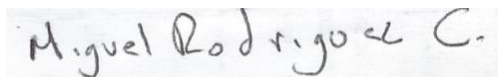
U.S Energy Information Administration. (2016). Building Type Definitions.

Ürge-Vorsatz, D., Eyre, N., Graham, P., Harvey, D., Hertwich, E., Jiang, Y., ... Tirado Herrero, S. (2012). Energy End-Use: Buildings. *Global Energy Assessment: Toward a Sustainable Future*, 649–760. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511793677.016>


Vakiloroaya, V., Samali, B., Fakhar, A., & Pishghadam, K. (2014). A review of different strategies for HVAC energy saving. *Energy Conversion and Management*, 77, 738–754.
<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.10.023>

Vakiloroaya, V., Samali, B., & Pishghadam, K. (2014). A comparative study on the effect of different strategies for energy saving of air-cooled vapor compression air conditioning systems. *Energy and Buildings*, 74, 163–172. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.01.042>

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22


 FIRMA ESTUDIANTES _____


 FIRMA ASESOR _____


 FIRMA ASESOR _____

FECHA ENTREGA: 12 de octubre de 2017

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

RECHAZADO___ ACEPTADO___ ACEPTADO CON MODIFICACIONES___

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

ACTA NO. _____ FECHA ENTREGA: _____
--