



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ELÉCTRICA**

**Sistema de aire acondicionado con intercambiador HPHE para  
reducir la carga térmica en un quirófano - Chiclayo**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
Ingeniero Mecánico Electricista

**AUTOR:**

Valladolid Alfaro, Edwin Jonathan (orcid.org/ 0000-0003-3429-6367)

**ASESORES:**

Dr. Luján López, Jorge Eduardo (orcid.org/ 0000-0003-1208-1242)

Mg. Castro Anticona, Walter Miguel (orcid.org/ 0000-0002-8127-4040)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Modelamiento y Simulación de Sistemas Electromecánicos

**LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:**

Desarrollo Sostenible y Adaptación al Cambio Climático

TRUJILLO – PERÚ

2022

## **Dedicatoria**

Dedico esta tesis con todo cariño y amor a mi esposa e hijos, así como a mis padres, por su apoyo incondicional.

## Agradecimiento

A Dios por ser mi guía en la vida y a mis queridos profesores y universidad por toda la aventura estudiantil.

## Índice de contenidos

Carátula .....	i
Dedicatoria.....	2
Agradecimiento.....	3
Índice de contenidos.....	4
Índice de tablas.....	5
Índice de gráficos y figuras .....	6
Resumen .....	7
Abstract.....	8
I. INTRODUCCIÓN .....	9
II. MARCO TEÓRICO .....	11
III. METODOLOGÍA.....	19
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	19
3.2. Variables y operacionalización .....	20
3.3. Población, muestra, muestreo, unidad de análisis.....	20
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	20
3.5. Procedimientos .....	21
3.6. Método de análisis de datos .....	21
3.7. Aspectos éticos.....	21
IV. RESULTADOS .....	22
V. DISCUSIÓN .....	25
VI. CONCLUSIONES.....	29
VII. RECOMENDACIONES .....	30
REFERENCIAS.....	31
ANEXOS .....	36

## Índice de tablas

Tabla N°01: Parámetros de climatización interiores para diseño -----	15
Tabla N° 02: Condiciones ambientales según ubicación de la Clínica -----	15
Tabla N° 03: Resumen de cargas térmicas con el uso de equipo convencional --	16
Tabla N° 04: Resumen de cargas térmicas con el uso de equipo con HPHE -----	17
Tabla N° 05: Demanda eléctrica de sistemas de aire acondicionado -----	17

## Índice de gráficos y figuras

Imagen N°01: Esquema de instalación de intercambiador HPHE-----	10
Imagen N°02: Vista de planta y corte de Quirófano N° 01 -----	14
Imagen N° 03: Extracto Tabla 3 de capítulo 7 de norma ASHRAE-----	15

## Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo principal determinar si la implementación de un sistema de aire acondicionado con intercambiador de calor puede reducir la carga térmica de un quirófano de la ciudad de Chiclayo, para ello se realizó un estudio cuantitativo de tipo aplicada, diseño del tipo no experimental y transversal y de alcance descriptivo. La muestra estudiada fue un quirófano de una clínica de la ciudad de Chiclayo, de donde se tomaron sus datos físicos y los parámetros climáticos de la zona, así mismo, de la norma ASHRAE se extrajeron los parámetros de temperatura, humedad relativa y cantidad de renovaciones de aire que se deben garantizar dentro de un quirófano; con estos datos se procedió a realizar los cálculos para encontrar la carga térmica en base al método CLTD/CLF/SCL del ASHRAE Handbook Fundamentals, este cálculo fue realizado para un sistema de aire acondicionado del tipo convencional y un sistema de aire acondicionado al cual se le ha implementado un intercambiador HPHE, intercambiador de calor mediante tuberías de calor. Luego de realizado los cálculos se encontró que con la implementación de un intercambiador HPHE se obtuvo una reducción de carga térmica del 9.30%, evidenciando que se logró un ahorro energético en el sistema de aire acondicionado de un quirófano.

Palabras clave: Quirófano, intercambiador HPHE, ASHRAE, carga térmica.

## **Abstract**

The main objective of this investigation was to determine if the implementation of an air conditioning system with a heat exchanger can reduce the thermal load of an operating room in the city of Chiclayo, for which a quantitative study of the applied type was carried out, a design of the type not experimental and transversal and of descriptive scope. The sample studied was an operating room of a clinic in the city of Chiclayo, from where its physical data and the climatic parameters of the area were taken, likewise, from the ASHRAE standard, the parameters of temperature, relative humidity and number of renovations were extracted. of air that must be guaranteed inside an operating room; With these data, the calculations were made to find the thermal load based on the CLTD/CLF/SCL method of the ASHRAE Handbook Fundamentals, this calculation was made for a conventional type air conditioning system and an air conditioning system to which It has implemented an HPHE exchanger, heat exchanger through heat pipes. After carrying out the calculations, it was found that with the implementation of an HPHE exchanger, a reduction in thermal load of 9.30% was obtained, evidencing that energy savings were achieved in the air conditioning system of an operating room.

Keywords: Operating room, HPHE exchanger, ASHRAE, thermal load.



## I. INTRODUCCIÓN

Los centros de salud cuentan con una amplia diversidad de sistemas e instalaciones que permiten brindar un servicio eficiente a sus pacientes, lo que los convierte en edificios complejos para administrar (Fern y Egu, 2018), en este tipo de edificación comúnmente los profesionales que diseñan y los propietarios está enfocados en los temas de salubridad por lo que no se toma muy en cuenta el consumo de energía en el que se incurre.

En un Centro de Salud la calidad del aire en el interior es importante ya que ayuda a controlar la propagación de infecciones (Wu et al., 2021), además de brindar confort a los pacientes ayudando a su recuperación (Liu et al., 2018), así también juega un papel importante en los pacientes de las Unidades de Cuidados Intensivos (Saran et al., 2020), así como en los quirófanos en donde se requiere asepsia y brindar sensación de confort térmico al paciente (Gutierrez, Sezer y Ramirez, 2022), así mismo cada tipo de paciente requiere distintas condiciones de confort (Wang et al., 2018); así nace la necesidad de contar con un adecuado Sistema de Aire Acondicionado y Ventilación Mecánica (HVAC) que garantice una gestión adecuada de la calidad del aire interior (IAQ) dentro de las unidades de salud (Fonseca et al., 2019).

El sistema HVAC es el que más repercusión tiene en el consumo energético total de un Centro de Salud (Sánchez-Barroso Moreno et al., 2019), y dentro de este sistema los equipos que tienen más consumo eléctrico son los que se instalan dentro de los quirófanos, debido a que son lo más complejos, además de tener un funcionamiento continuo (Porowski, 2019). Estos equipos son importantes ya que deben garantizar las condiciones climáticas en el interior del quirófano (Chen, 2018).

Promover el ahorro energético es de suma importancia en los edificios, en los Centros de Salud se puede evaluar la eficiencia energética en los sistemas HVAC mediante: un correcto plan de mantenimiento, aplicación de uso de energía solar, tecnologías de aire acondicionado con desecante líquido (Fekadu y Subudhi, 2018), mediante el uso de agua como refrigerante (Jouhara y Meskimmon, 2018), o mediante una reducción del consumo eléctrico y térmico de los equipos del sistema HVAC, lo cual se puede lograr estableciendo criterios de diseño adecuados (González, García-sanz-calcedo y Salgado, 2018).

En la actualidad los edificios de salud son un factor importante en la economía de un país debido a las grandes cantidades de energía que utilizan, es por ello que es de suma urgencia y necesario establecer políticas de ahorro energético (García-Sanz-Calcedo, Al-Kassir y Yusaf, 2018), así mismo gubernamentalmente se hace necesario busca reducir el consumo energético de los edificios hospitalarios a fin de ahorrar sus costos operativos (Muhammad et al., 2021), en los países desarrollados el consumo de estos sistemas llegan a valores de más del 40% del total de la energía consumida a nivel nacional (Jouhara y Yang, 2018). En países de Europa se están implementando mejoras para ahorrar energía eléctrica utilizando la energía térmica que se encuentra en los aires que son extraídos de algunas unidades de salud y son expulsados al medio ambiente (Muhammadiyah, Winarta y Putra, 2018), esto sin afectar las condiciones de clima internas de los ambientes (Sánchez-Barroso Moreno et al., 2019)

El consumo de energía de las edificaciones se viene incrementando durante las últimas décadas, y la implementación de planes de ahorro energético y desarrollo sostenible es primordial, este es un punto que no se toma en cuenta en las etapas de diseño y construcción de Centros de Salud (Ji y Qu, 2019), una opción que se viene utilizando es el de energía residual mediante la implementación de un intercambiador de calor mediante tuberías de calor, HPHE por sus siglas en inglés (Ali et al., 2022).

La formulación del problema de investigación fue planteada mediante la siguiente pregunta: ¿Cuáles son las ventajas de implementar un sistema de aire acondicionado con intercambiador de calor mediante tubos de calor para un quirófano en la ciudad de Chiclayo? Y de forma específica se planteó las siguientes preguntas: ¿Cuál es la configuración de un sistema de aire acondicionado convencional para un quirófano en la ciudad de Chiclayo?, ¿Cuál es la carga térmica del sistema de aire acondicionado convencional?, ¿Cuál es la configuración de un sistema de aire acondicionado con intercambiador de calor mediante tubos de calor para un quirófano en la ciudad de Chiclayo? y ¿Cuál es la carga térmica del sistema de aire acondicionado con un intercambiador de calor mediante tubos de calor?

La elaboración de este proyecto se justifica en conseguir una reducción de la carga térmica de un quirófano mediante la implementación de un sistema de aire

acondicionado implementado con un intercambiador de calor HPHE.

Conforme a lo establecido, el objetivo general de la investigación fue: Evaluar las ventajas de implementar un sistema de aire acondicionado con intercambiador de calor mediante tubos de calor para un quirófano en la ciudad de Chiclayo. Los objetivos específicos fueron: Diseñar el sistema de aire acondicionado convencional para un quirófano en la ciudad de Chiclayo, determinar la carga térmica del sistema de aire acondicionado convencional, diseñar el sistema de aire acondicionado con intercambiador de calor mediante tubos de calor (HPHE) para un quirófano en la ciudad de Chiclayo y determinar la carga térmica del sistema de aire acondicionado con intercambiador de calor mediante tubos de calor.

La hipótesis general que se plantea en el presente estudio es que la implementación de un sistema de aire acondicionado con intercambiador de calor puede reducir la carga térmica de un quirófano de la ciudad de Chiclayo.

## **II. MARCO TEÓRICO**

En un estudio realizado por Sánchez-Barroso Moreno et al. (2019) se ejecutó una simulación del funcionamiento de sistemas de aire acondicionado para un quirófano considerando un sistema de recuperación de calor sensible reutilizando el aire extraído de la sala, con la finalidad de poder determinar ahorros potenciales de consumo eléctrico; para este estudio establecieron valores de flujo de aire, temperatura y humedad fijos que brinden un nivel de confort aceptable para los pacientes y personal médico, así mismo establecieron las dimensiones físicas del ambiente. Como resultado del estudio concluyeron que la instalación de un sistema de recuperación de calor sensible y la utilización del aire extraído del quirófano reducen la demanda energética del sistema de aire acondicionado.

Una investigación realizada en Indonesia por Muhammadiyah, Winarta y Putra (2018) tuvo como objetivo identificar la eficacia y los valores de recuperación de calor de tubo (HPHE) en los sistemas de HVAC, para lo mediante el uso de un banco de pruebas en un sistema de aire acondicionado convencional implementaron un módulo HPHE el cual estaba compuesto por una cantidad específica de tubos de calor equipados con una cantidad específica de aletas, las cuales tienen como objetivo maximizar el efecto de recuperación de calor, en el banco de pruebas variaban los valores de la temperatura y la velocidad del aire de

ingreso a fin de poder obtener en que valores se obtenía mayor eficiencia del módulo HPHE, obteniendo como resultado que el módulo HPHE lograba una reducción significativa del uso de energía la cual alcanzaba su mayor valor cuando mayor era el valor de caudal de aire y mayor era la temperatura de aire de entrada.

Se tiene una investigación realizada por Sukarno, Putra, Ibnu, et al. (2021) en donde se tuvo como objetivo mejorar el diseño de un sistema de aire acondicionado mediante la adición de un intercambiador de calor HPHE, para lo cual se realizaron experimentos con temperaturas y velocidad variables del aire fresco de entrada, así mismo se consideró diferentes configuraciones de filas de cobre que forman parte del intercambiador de calor, se obtuvieron cuadros y curvas del comportamiento de la eficiencia con respecto al cambio de las variables de entrada mencionadas.

Se tiene una investigación de Sukarno et al. (2021) en la cual se utilizó un modelo de prueba experimental que contaba con un intercambiador de tubo de calor (HPHE) el mismo que estaba compuesto por varias filas de tubos de calor de cobre dentro de los cuales se colocó una proporción de agua como fluido de trabajo, el estudio a fin de evaluar la eficacia del sistema de aire acondicionado con intercambiador HPHE definió parámetros de diseño y operación, en las pruebas se utilizaron distintos valores de temperatura y velocidad de entrada de aire fresco, así mismo se fueron variando la cantidad de tubos de cobre del HPHE; como resultado obtuvieron curvas de comportamiento del sistemas según varíen los datos ingresados, y como conclusión del estudio se obtuvo que la mayor efectividad se logra con un mayor valor de entrada de temperatura, así mismo se encontró que mientras mayor sea el mayor número de filas de tubos mayor será la eficacia del sistema.

Un estudio similar fue realizado por Abdelaziz et al. (2021) en el cual se realizó un estudio experimental en un sistema de aire acondicionado con un intercambiador de calor HPHE y se obtuvo como resultado la eficiencia térmica aumenta a medida que aumenta la temperatura de entrada de aire fresco.

Un estudio realizado por Eidan et al. (2021) se realizó una investigación experimental en la cual se busca verificar el rendimiento térmico de un sistema de aire acondicionado equipado con un intercambiador HPHE, para el estudio se tomó como variable el tipo de refrigerante del intercambiador seleccionando agua

destilada, acetona y R-134a, así como un porcentaje de proporción de llenado de 50% y 100% de las tuberías del intercambiador. De la investigación se obtuvo como resultado que el uso del intercambiador de calor reduce el consumo de energía de un sistema de aire acondicionado, así mismo una proporción de llenado del 100% garantiza un aumento de la efectividad térmica, así mismo el uso de acetona y agua como refrigerante brinda mayores valores de efectividad del sistema con respecto al uso del R134a.

Un estudio realizado por Hakim et al. (2018) se diseñó e implementó un intercambiador HPHE equipado con 12 tubos de calor de material cobre ubicados en forma escalonada y con aletas de aluminio de forma ondulada, como variables independientes tienen la velocidad del aire de entrada, así como también la temperatura de este fluido, en el interior del intercambiador de calor se utilizó como refrigerante agua a una temperatura de 7°C, con estas definiciones procedieron a realizar los experimentos con cada uno de los valores escogidos para cada una variables. A partir de la investigación realizada encontraron que el valor de efectividad de HPHE aumenta con el aumento del número de módulos y la cantidad de temperatura del aire de entrada del evaporador, pero disminuye a medida que aumenta la velocidad del aire de entrada.

A la investigación anteriormente mencionada se suma la realizada por Hakim et al. (2020) en el cual se hace un estudio similar de un intercambiador HPHE y se analiza la viabilidad técnica económica para poder implementar este intercambiador en un sistema de aire acondicionado, obteniendo como resultado que la recuperación de la inversión para la implementación del intercambiador de calor se puede lograr en un plazo mínimo de 03 años, lo cual lo convierte en un proyecto viable económicamente, y técnicamente en el estudio también quedo demostrado que su implementación es factible.

En un estudio elaborado por Kusumah et al. (2019) se realizó un experimento considerando un intercambiador HPHE con tubos de calor distribuidos en forma de "U" y se ingresó como datos de entrada la velocidad y temperatura del aire de entrada, con los mismos se encontró la efectividad del intercambiador de calor para cada tipo de valor. Adicionalmente se comparó la efectividad de un intercambiador con tuberías de cobre dispuestos en forma de "U" escalonadamente y la efectividad de un intercambiador con tubos distribuidos en forma recta,

encontrándose que con tubos de cobre en forma de “U” se brinda un mayor ahorro en el consumo de energía.

Un sistema de aire acondicionado es el proceso mediante el cual se realiza un tratamiento de aire con la finalidad de controlar sus parámetros de temperatura, humedad relativa, asepsia, y distribución hacia los ambientes, y tiene por finalidad brindar confort a las personas que ocupan los ambientes a donde se distribuye el aire tratado (Grado, Giovanni y Martínez, 2015).

El principio de funcionamiento de los sistemas de aire acondicionado se basa en la transferencia de calor, la que se define como la transferencia de energía que puede ocurrir entre dos materiales que se encuentran a diferentes temperaturas. La transferencia de calor se complementa con la primera y segunda ley de la termodinámica, a lo cual le suma reglas que permiten calcular la rapidez con la que se transfiere la energía (Holman, 1999).

Los sistemas convencionales de aire acondicionado pueden tener un funcionamiento autónomo o un funcionamiento dependiente, en el caso de los equipos autónomos ellos propiamente generan su medio de transferencia de calor que permite enfriar o calentar el aire, mientras que los equipos dependientes requieren de un equipo centralizado externo que les brinde la energía térmica que les permita realizar la transferencia de calor al aire (Nacional, San y Técnica, 2016).

A nivel internacional se cuenta con la Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Acondicionamiento de aire, ASHRAE por sus siglas en inglés, la cual en base a diferentes estudios ha establecido los parámetros ambientales adecuados que permitan brindar un confort a las personas, entre sus capítulos se encuentra uno relacionado al ámbito de Salud, en el cual establecen los valores de renovaciones de aire, rango de temperatura interna, rango de humedad relativa interna, presión positiva o negativa, entre otros, estos valores se encuentran clasificados de acuerdo al tipo de ambiente que se requiere climatizar, los ambientes que cuentan con mayor exigencia son los quirófanos (De et al., 2009).

Los intercambiadores de calor se definen como los dispositivos que tienen como función lograr la transferencia de calor entre dos o más materiales o fluidos que se encuentran a diferentes temperaturas, los intercambiadores son utilizados en diferentes ámbitos como las industrias química y alimentaria, así mismo se utiliza

para poder recuperar energía residual de sistemas (Sánchez et al., 2020).

En el sistema de aire acondicionado es posible implementar un intercambiador de tubería de calor HPHE por sus siglas en inglés, el cual se instala entre el ducto de extracción de aire del ambiente y el ducto de inyección de aire, lo cual permite que este intercambiador funcione como un preenfriamiento reduciendo la cantidad de calor necesario para volver a climatizar el aire que ingresa al ambiente (Sukarno, Putra, Hakim, et al., 2021).

La carga térmica se define como la cantidad de calor que se debe transferir hacia un ambiente a fin de poder garantizar que se mantengan a ciertas condiciones de temperatura y humedad, el calor necesario es generado por un equipo externo (Camacho y Tomasto, 2021). Otra definición de la carga térmica es la cantidad de energía térmica que en una unidad de tiempo, una persona que se encuentra dentro de un ambiente intercambia con el exterior para mantenerse en ciertas condiciones de temperatura y humedad, esta carga térmica puede provenir desde el exterior del ambiente y el interior del mismo (Grado, Giovanni y Martinez, 2015).

Para realizar el cálculo de la carga térmica de un sistema de aire acondicionado se debe considerar que la carga térmica se divide en 2 grupos, la carga térmica sensible (cantidad de calor que permite aumentar la temperatura de una sustancia) y la carga térmica latente (calor necesario para lograr el cambio de estado de una sustancia). Para calcular la carga térmica se deben establecer condiciones de diseño como: dimensiones del área que se pretende climatizar, distribución arquitectónica dentro del edificio, temperatura exterior, temperatura y humedad relativo interior de diseño (Grado, Giovanni y Martinez, 2015).

La ASHRAE ha desarrollado distintos métodos para realizar el cálculo de la carga térmica necesaria para climatizar un ambiente, dentro de los cuales está el método CLTD/CLF/SCL (Diferencial de temperatura de carga de refrigeración / Factores de carga de refrigeración / Carga de refrigeración solar), este método se muestra en el ASHRAE Handbook Fundamentals publicado en el año 1985. Este método clasifica los tipos de carga generadoras de calor, los mismos que se muestran en la tabla del anexo 01. El método CLTD/CLF da indicaciones para el cálculo de las cargas térmicas, que se muestran en la tabla 1 del capítulo 26 del ASHRAE Handbook Fundamentals (ASHRAE, 1985). A continuación, se describe el proceso de cálculos de las cargas térmicas (ASHRAE, 1985)

La carga por iluminación, es el calor sensible que disipan las luminarias instaladas en la sala (según su tipo) y es transferida al aire y se encuentra definida mediante la siguiente fórmula:

$$Q_{ilum} = Q_{flu}$$

$$Q_{flu} = \sum (W_{flu} \times 1.2 \times F_u \times CLF_{luces})$$

Dónde:

$Q_{ilum}$ : Calor por iluminación (W)

$Q_{flu}$ : Calor por lámparas fluorescentes (W)

$W_{flu}$ : Pot. de lámparas fluorescentes (W)

$F_u$ : Factor de utilización = # lámparas encendidas / # lámparas totales

$CLF_{luces}$ : Factor de carga por enfriamiento por luces. Ver anexo 2.

La carga por personas, es el calor sensible y latente que emiten las personas teniendo en cuenta factores como: edad, talla, condiciones de salud y actividad que se encuentra realizando, siendo esta última característica la de mayor importancia, este calor se encuentra definido según la siguiente fórmula:

$$Q_{pers} = Q_{pers.sens} + Q_{pers.lat}$$

$$Q_{pers.sens} = \sum_i^n (NP \times Q_p \times PS \times CLF_{personas})_i$$

$$Q_{pers.lat} = \sum_i^n (NP \times Q_p \times (1 - PS))_i$$

Dónde:

$Q_{pers}$  = Calor por personas (W)

$Q_{pers.sens} - Q_{pers.lat}$ : Calor por personas sensible y latente (W)

$NP$ : Número/cantidad de personas dentro de sala. Ver anexo 3.

$Q_p$ : Ganancia de calor por persona (W). Ver anexo 4.

$PS$ : Porcentaje de carga sensible. Ver anexo 5.

$CLF_{personas}$ : Factor de enfriamiento de ocupantes. Ver anexo 6.

La carga por renovación de aire exterior, es el calor sensible y latente que se requiere transferir al aire que ingresa al ambiente para garantizar las condiciones internas de climatización, este calor depende del caudal de aire que se debe



renovar, el mismo que está en función de las renovaciones por hora de aire que establece la normativa ASHRAE (ver anexo 7), el calor por renovación de aire exterior se encuentra definido según la siguiente fórmula:

$$Q_{renov} = Q_{renov.sens} + Q_{renov.lat}$$

$$Q_{renov.sens} = 1.08 \times Caudal \times 1.8 \times (T_{ext} - T_{int})$$

$$Q_{renov.lat} = 0.68 \times Caudal \times (W_{ext} - W_{int})$$

Dónde:

$Q_{renov}$ : Calor por renovación de aire (W)

$Q_{renov.sens} - Q_{renov.lat}$ : Calor sensible y latente por renovación de aire (W)

Caudal: Volumen de aire para garantizar la renovación del aire (cfm)

$T_{ext} - T_{int}$ : Temperatura exterior e interior (°C)

$W_{ext} - W_{int}$ : Humedad relativa exterior e interior

La carga por equipamiento, es el calor sensible que disipan los equipos instalados en el interior del ambiente (ver anexo 8), el calor por equipos es:

$$Q_{eq} = Q_{eq.sens} + Q_{eq.lat}$$

$$Q_{eq.sens} = \sum_{k=1}^m (Q_{SE} \times NE \times Fu \times CLF)_k$$

$$Q_{eq.lat} = \sum_{k=1}^m (Q_{LE} \times NE \times Fu)_k$$

$$Fu = \frac{\# \text{ equipos en funcionamiento}}{\text{total de equipos}} \times \frac{\text{min. en funcionamiento}}{60 \text{ minutos}}$$

Dónde:

$Q_{eq}$ : Calor por equipamiento (W)

$Q_{eq.sens} - Q_{eq.lat}$ : Calor sensible y latente por equipamiento (W)

$Q_{SE} - Q_{LE}$ : Potencia disipada en forma de calor sensible y latente (W)

NE: Número de equipos

Fu: Fracción de equipos en funcionamiento

CLF: Factor de enfriamiento para equipos. Ver anexo 9.

$Pot_{equip}$ : Potencia eléctrica de equipamiento instalado

La implementación del intercambiador HPE en el sistema de aire acondicionado convencional se realiza colocando el lado del evaporador del

intercambiador en el lado del suministro de aire previo al ingreso del serpentín de enfriamiento del equipo de aire acondicionado convencional, mientras que el lado del condensador del intercambiador en el lado de la extracción de aire de la sala (Sukarno, Putra, Ibnu, et al., 2021) . En la figura 01 se aprecia es esquema de instalación del intercambiador de calor (Sukarno, Putra, Hakim, et al., 2021).

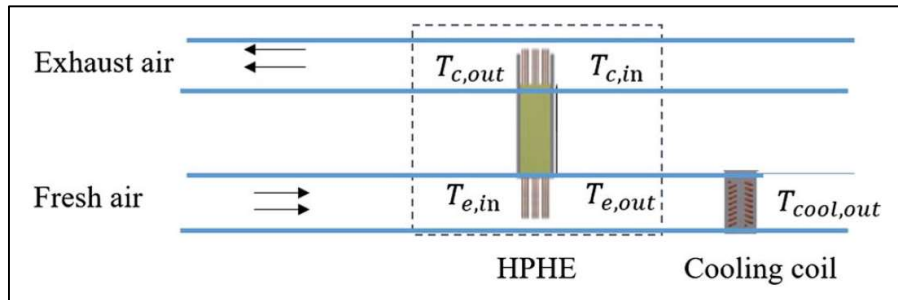


Imagen N°01: Esquema de instalación de intercambiador HPHE

La eficacia de un intercambiador de calor está definida por la relación entre la transferencia de calor de HPHE con respecto al calor máximo posible, según la siguiente expresión (Yang et al., 2019):

$$\varepsilon = \frac{Q_{HPHE}}{Q_{m\acute{a}x}}$$

Para determinar la eficacia, se toman en cuenta ciertos parámetros según la norma ASHRAE, como lo son que el flujo de aire se mantiene constante, que el intercambiador de aire se encuentra totalmente aislado de modo que no se suministre ni se pierda energía (Sukarno, Putra, Ibnu, et al., 2021), así mismo se considera que la densidad y calor específico del aire que pasa por el intercambiador HPHE se mantienen constantes, de la misma manera se considera que en el proceso no se produce condensación (Hakim et al., 2018), de manera que la eficacia queda expresada de la siguiente manera, tomando en cuenta las variables de la imagen 01:

$$\varepsilon = \frac{T_{e,in} - T_{e,out}}{T_{e,in} - T_{c,in}}$$

Dónde:

$T_{e,in}$ : Temperatura de entrada del evaporador de HPHE (°C)

$T_{e,out}$ : Temperatura de salida del evaporador de HPHE (°C)

$T_{c,in}$ : *Temperatura de entrada del condensador de HPHE (°C)*

La eficacia de un intercambiador por tubos de calor (HPHE) depende de distintos factores como son, el material de los tubos de calor, la cantidad de filas, el fluido que circula dentro de los tubos y entre otros. Se han realizado diversos estudios para calcular la eficacia de un intercambiador HPHE, entre ellos un estudio realizado se realizó pruebas con distintos fluidos entre ellos agua destilada con un porcentaje de llenado de tuberías al 100% se obtuvo valores de eficacia entre 48% a 75% (Eidan, Adel A. et al., 2021); así mismo en un estudio similar en donde se tomó en cuenta las características del intercambiador HPHE se obtuvo valores entre 43.1% y 62.6% de eficacia (Sukarno, Putra, Hakim, et al., 2021).

La demanda eléctrica está definida como la cantidad de electricidad que una serie de consumidores necesitan para abastecer sus necesidades. En el caso de un equipo de aire acondicionado existe una relación entre la carga térmica necesaria para climatizar un ambiente y la potencia eléctrica que se requiere para el funcionamiento del equipo, este valor se le denomina Indicador o factor que indica la eficiencia energética en Calefacción o COP. Esta relación indica que mientras mayor sea el requerimiento de carga térmica mayor será la potencia eléctrica del equipo de aire acondicionado (Salvador, 2016). El estándar ASHRAE para edificios considera un valor COP de 3 (Hakim et al., 2020).

$$COP = \frac{\text{Carga térmica}}{\text{Potencia eléctrica}}$$

### **III. METODOLOGÍA**

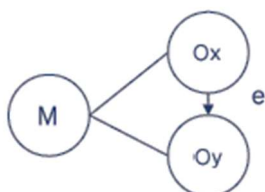
#### **3.1. Tipo y diseño de investigación**

##### **Tipo de investigación**

Esta investigación según su finalidad fue del tipo aplicada, porque se pretendió reducir el consumo eléctrico en los sistemas de aire acondicionado para un ambiente Quirófano utilizando los conocimientos adquiridos (Julio, Artículo y Editor, 2017). De enfoque cuantitativo porque se contó con una hipótesis y se efectuaron cálculos numéricos para realizar el análisis que permitió obtener un resultado sobre la hipótesis planteada (Hernández, Paredes y Amilcar, 2010).

##### **Diseño de investigación**

En esta investigación su diseño fue del tipo no experimental, ya que no se manipularon las variables ni se tuvo control sobre ellas, del tipo transversal ya que el análisis fue en un único momento. Por su alcance fue del tipo descriptivo, porque se determinó la carga térmica y el consumo eléctrico de un sistema de aire acondicionado para un quirófano con dos alternativas de diseño, pero no se buscó explicar una relación causal.



Dónde:

M: Muestra

Ox: Tipo de sistema de aire acondicionado

Oy: Carga térmica y consumo eléctrico

### 3.2. Variables y operacionalización

#### Variable 1: Carga térmica

Cantidad de calor que se debe transferir hacia un ambiente a fin de poder garantizar que se mantengan a ciertas condiciones de temperatura y humedad relativa.

### 3.3. Población, muestra, muestreo, unidad de análisis

#### Población:

La población fue de 10 quirófanos de clínicas de la ciudad de Chiclayo.

- **Criterios de inclusión:** Los quirófanos de las clínicas que se encuentran en la ciudad de Chiclayo

**Muestra:** Un quirófano de una clínica de la ciudad de Chiclayo.

**Muestreo:** No probabilístico por conveniencia.

**Unidad de análisis:** Un quirófano de una clínica de la ciudad de Chiclayo.

### 3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

#### Técnicas de recolección de datos

En la presente investigación la técnica que se aplicó es el análisis documental como técnicas de recolección de datos.

## **Instrumentos de recolección de datos**

Para el análisis documental se utilizó una ficha de datos.

### **3.5. Procedimientos**

La investigación se inició con la recolección de datos físicos de un quirófano de la ciudad de Chiclayo. En la segunda etapa que ya correspondió al desarrollo del proyecto, se procedió a realizar los cálculos de diseño con los datos recolectados, considerando un sistema de aire acondicionado convencional y un sistema de aire acondicionado con intercambiador HPHE, para esto se estableció parámetros como la temperatura, humedad relativa y cantidad de renovaciones de aire en el interior del quirófano en base a las normativas internacionales vigentes, así mismo se tomó como datos de ingreso la temperatura media exterior del ambiente a climatizar, posteriormente se realizó un análisis comparativo de consumo de carga térmica para cada uno de los tipos de sistemas. Para el desarrollo y presentación del informe correspondiente a la investigación se utilizó el software Mathcad para la digitalización de las fórmulas utilizadas en los cálculos, y Microsoft Excel para la presentación de tablas de cálculos.

### **3.6. Método de análisis de datos**

En la investigación que se desarrolló se realizó un análisis mediante cálculos numéricos utilizando fórmulas de transferencia de calor en base a métodos establecidos por normas internacionales vigentes, como información complementaria a los datos recolectados se consideró las normativas internacionales que establecen los parámetros ambientales internos que debe tener un quirófano.

### **3.7. Aspectos éticos**

La investigación contempló los buenos principios y conductas aceptables, se utilizaron normas ISO 690 para las citas considerando al autor y año de la investigación a la que se hace referencia, estas citas se encuentran tanto en la realidad problemática, marco teórico y antecedentes. Así mismo se respetó la normatividad de la guía vigente de la Universidad Cesar Vallejo y por último en cuanto a los datos recolectados se garantizó su veracidad y se manejaron con total confidencialidad.

#### IV. RESULTADOS

Para el diseño del sistema de aire acondicionado convencional, como primer paso se realizó la recolección de datos físicos de un quirófano de una clínica de la ciudad de Chiclayo, de lo cual se puede indicar que su ubicación se encuentra en el 2do nivel en un edificio de 07 piso y 01 sótano. Arquitectónicamente se encuentra rodeado de corredores técnicos, de lo cual se dedujo que ninguna de sus paredes se encuentra expuestas al sol, y así mismo del diseño arquitectónico el ambiente no cuenta con ventanas, en el anexo 10 se puede apreciar la ubicación del quirófano en donde se realizará el estudio.

En la imagen N° 02 se puede apreciar las dimensiones del quirófano en estudio son: 6.55 x 5.20 x 3.00 mts (largo x ancho x altura), valores que serán útiles para calcular el volumen del ambiente, para posteriormente calcular el caudal de aire que se requiere para garantizar la renovación de aire dentro de la sala.

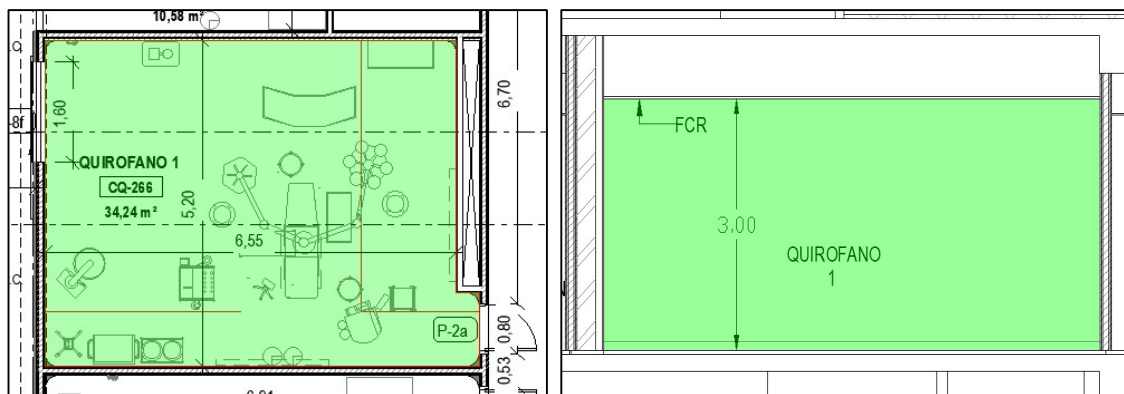


Imagen N°02: Vista de planta y corte de Quirófano N° 01.

Como siguiente paso se estableció los parámetros de climatización que se requieren en el interior del ambiente quirófano, esto basado en la norma internacional ASHRAE en su capítulo 07 “Aire Acondicionado en Centros de Salud”; es así que, de la imagen N° 03 se puede conocer que para quirófanos con 100% de aire exterior se tiene como requerimiento que la temperatura interior debe estar entre los 20 a 24°C; así mismo una humedad relativa entre 20 a 60%, así mismo se requiere como mínimo 20 renovaciones de aire a fin de mantener la asepsia en el interior.

Function of Space	Pressure Relationship to Adjacent Areas (n)	Minimum Outdoor ACH, ach	Minimum Total ACH, ach	All Room Air Exhausted Directly to Outdoors (j)	Air Recirculated by Means of Room Units (a)	RH (k) (%)	Design Temperature (l), (°F/°C)
SURGERY AND CRITICAL CARE							
Class B and C Operating room, (m),(n) (o)	Positive	4	20	N/R	No	20-60	68-75/20-24
Operating/surgical cystoscopic rooms, (m), (n) (o)	Positive	4	20	N/R	No	20-60	68-75/20-24

Imagen N°03: Extracto Tabla 3 de capítulo 7 de norma ASHRAE. Ver anexo 10.

De los rangos establecidos por la norma ASHRAE se toman como valores de diseño en el interior de la sala:

Tabla N°01: Parámetros de climatización interiores para diseño.

PARÁMETRO DE DISEÑO	VALOR
Humedad relativa promedio:	50%
Temperatura interior:	20 °C
Renovaciones de aire por hora:	20

Con la finalidad de realizar los cálculos se requiere conocer las condiciones exteriores (del medio ambiente), para lo cual se obtuvieron los datos:

Tabla N°02: Condiciones ambientales según ubicación de la Clínica.

PARÁMETRO	VALOR
Rango de Humedad:	23% mín. - 90% máx.
Humedad relativa promedio:	60%
Temperatura bulbo seco:	32.4°C
Temperatura bulbo húmedo:	24.2°C

Para la determinación de la carga térmica del sistema de aire acondicionado convencional. con los datos recolectados se procedió a realizar los cálculos de carga térmica para garantizar la climatización en el interior de la sala, considerando las cargas generadas por iluminación, por ocupación de personal, por equipos instalados dentro del quirófano y por ventilación para renovación de aire; en relación al calor por conducción a través del exterior, este valor es nulo, debido a que el ambiente no está expuesto directamente al sol, ver croquis de ubicación del quirófano en el anexo 11. Con ayuda de una hoja de cálculos del programa Microsoft Excel se obtuvo el cuadro mostrado en el anexo 12, un resumen se

muestra en la tabla N°03.

Tabla N°03: Resumen de cargas térmicas con el uso de equipo convencional.

CARGA POR ILUMINACIÓN (BTU/h):	2,356.99
CARGA POR EQUIPAMIENTO (BTU/h):	52,423.98
CARGA POR PERSONAS (BTU/h):	4,126.57
CARGA POR RENOVACIÓN DE AIRE (BTU/h):	46,155.97
<b>CARGA TOTAL REQUERIDA (BTU/h):</b>	<b>105,063.50</b>

Para el diseño del sistema de aire acondicionado con un intercambiador de calor de tubos (HPHE), se consideró la instalación del intercambiador de calor entre el ducto de extracción de aire de la sala de quirófanos y el ducto de toma de aire del equipo de aire acondicionado convencional, con lo que se permitió transmitir el frío desde el volumen de aire extraído hasta el volumen de aire captado del exterior, el medio de transmisión será el intercambiador de calor de tubos de cobre.

De un experimento realizado para calcular la eficacia de un intercambiador de calor se tomará valor promedio de 52.85% (Sukarno, Putra, Hakim, et al., 2021), con este valor reemplazamos en la fórmula de la eficacia del intercambiador HPHE.

$$\varepsilon = \frac{T_{e,in} - T_{e,out}}{T_{e,in} - T_{c,in}}$$

Dónde:

$T_{e,in}$ : *T° de entrada del evaporador de HPHE*

Viene a ser la temperatura exterior, que en nuestro diseño es 24.2°C.

$T_{e,out}$ : *T° de salida del evaporador de HPHE (°C)*

Esta es la variable que deseamos encontrar, y será la nueva temperatura del aire que ingresará al equipo de aire acondicionado.

$T_{c,in}$ : *Temperatura de entrada del condensador de HPHE (°C)*

Es la temperatura del aire que se extrae de la sala, que es la temperatura interior de la sala climatizada, 20°C.

Entonces reemplazando datos tenemos:



$$\varepsilon = \frac{T_{e,in} - T_{e,out}}{T_{e,in} - T_{c,in}} \rightarrow 0.5285 = \frac{24.2 - T_{e,out}}{24.2 - 20} \rightarrow T_{e,out} = 21.98^{\circ}C$$

Para calcular la carga térmica con un equipo de aire acondicionado con intercambiador de calor, tomamos valor de temperatura hallado, el cual es la del aire que ingresará al serpentín de enfriamiento, y utilizamos las fórmulas ya descritas, obteniendo la tabla de cálculo que se muestra en el anexo 13. Un resumen se muestra en la siguiente tabla N°04.

Tabla N°04: Resumen de cargas térmicas con el uso de equipo con HPHE.

CARGA POR ILUMINACIÓN (BTU/h):	2,356.99
CARGA POR EQUIPAMIENTO (BTU/h):	52,423.98
CARGA POR PERSONAS (BTU/h):	36,393.83
CARGA POR RENOVACIÓN DE AIRE (BTU/h):	4,126.57
<b>CARGA TOTAL REQUERIDA (BTU/h):</b>	<b>95,301.37</b>

Para hallar las demandas eléctricas de los sistemas de aire acondicionado convencional y sistema de aire acondicionado con intercambiador de tubos de calor (HPHE) se tiene que el valor coeficiente de rendimiento COP considerado es de 3, por lo que en la tabla N° 05 se tiene que las demandas eléctricas para cada uno de los casos en estudio.

Tabla N° 05: Demanda eléctrica de sistemas de aire acondicionado.

<b>TIPO DE SISTEMA</b>	<b>POTENCIA</b>
SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO CONVENCIONAL	10.27 KW
SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO CON INTERCAMBIADOR HPHE	9.31 KW

## V. DISCUSIÓN

Teniendo en cuenta que el objetivo general de la investigación realizada es evaluar las ventajas de implementar un sistema de aire acondicionado con intercambiador de calor mediante tubos de calor para un quirófano en la ciudad de Chiclayo, los resultados que se obtuvieron en esta investigación a continuación se comparan de la siguiente manera con otras investigaciones mencionadas en los antecedentes de este estudio:

De los resultados obtenidos se encontró que con la implementación del intercambiador de calor mediante tubos de calor (HPHE) se obtuvo como ventaja la reducción de la carga térmica en un valor de 9.30% aproximadamente, con lo cual se evidencia un ahorro energético en el funcionamiento del sistema de aire acondicionado para el quirófano, así mismo lo señalan también Sánchez-Barro y Moreno et al. (2019) quienes en su estudio obtuvieron como resultado que con la instalación de un sistema de recuperación de calor se reduce la demanda energética de un quirófano, en el estudio se indica que el ahorro energético que logran con la instalación de un intercambiador de calor es de un valor del 26.32% con respecto a un sistema de aire acondicionado convencional. En este mismo estudio los investigadores concluyen que se logra un mayor valor de ahorro energético instalando un intercambiador de calor y recirculando el 50% del caudal del aire, sin embargo, para la investigación realizada se ha considerado, en base a la normativa ASHRAE (anexo 07), que no exista recirculación de aire, con la finalidad de mantener la asepsia dentro del quirófano. Cabe mencionar que la diferencia entre los ahorros energéticos se debe al parámetro de temperatura considerado, ya que se tiene que mientras mayor sea la temperatura exterior mayor será el ahorro energético que se conseguirá con la instalación del intercambiador de calor HPHE; esta misma conclusión se obtuvo en el estudio realizado por Sukarno, Putra, Hakim, et al., 2021 en donde luego de realizar pruebas experimentales mediante una simulación con pequeños equipos de aire acondicionado y conductos de aire en donde se instaló un intercambiador de calor mediante tubos de calor obtuvieron que con una mayor temperatura de entrada de aire, mayor es la recuperación de carga térmica logrando un mayor ahorro energético; así mismo, Hakim et al., 2020 realizó un estudio experimental mediante un prototipo de intercambiador de calor en el cual como resultado obtuvo que el mayor ahorro de energía eléctrica se encontraba cuando mayor es la temperatura de entrada de aire exterior.

Sukarno, Putra, Ibnu, et al., 2021 en su estudio realizado que tuvo como objetivo principal mejorar el diseño de un sistema de aire acondicionado, realizaron experimentos colocando un intercambiador de calor en el sistema de aire acondicionado convencional, para lo cual utilizaron un modelo de prueba compuesto por los mismos componentes de un equipo de aire acondicionado tales

como: sistema de refrigeración, serpentín de enfriamiento, compresor, condensador, un dispositivo de expansión y un evaporador, y al que se le equiparon con dispositivos de medición y control, dentro de los resultados obtenidos se tuvo que la reducción de carga térmica tuvo un valor mínimo de un 10% para una temperatura de aire de ingreso de 30°C, valor que es cercano al obtenido en el presente estudio, el cual fue del 9.30%, con la consideración de que la temperatura exterior que se consideró en el presente estudio fue de 24.2°C. Como ya se mencionó líneas arriba el porcentaje de ahorro energético aumenta su valor conforme aumenta la temperatura de ingreso de aire considerada en los cálculos de carga térmica.

En el estudio experimental realizado por Hakim et al., 2018, se establece que con la implementación de intercambiadores de calor por tubos de calor (HPHE) se logra mejorar la eficiencia del sistema de aire acondicionado en las salas limpias de los quirófanos sin llegar a afectar el confort térmico en el interior del ambiente, cumpliendo con lo establecido en la norma ASHRAE, este resultado se asemeja al conseguido en la presente investigación ya que la reducción de la carga térmica del sistema de aire acondicionado se consiguió solo con la implementación de un intercambiador de calor HPHE sin necesidad de variar los parámetros de temperatura y humedad exterior e interior considerados en los cálculos que se han realizado para ambos casos analizados: tanto para un sistema de aire acondicionado convencional como para un sistema de aire acondicionado con intercambiador de calor, de la misma manera en ambos casos se han mantenido los datos físicos del ambiente (dimensiones) y los valores de renovación de aire por hora, según lo establecido por la normativa ASHRAE, datos mencionados en el estudio realizado.

En la investigación realizada por Abdelaziz et al., 2021 se presentó un estudio experimental para analizar el ahorro de energía que se produciría con la implementación de un intercambiador de calor (HPHE) instalado en un equipo de aire acondicionado convencional, en este estudio tal como en el de la presente investigación el intercambiador de calor se colocó entre la corriente de aire caliente fresco y la corriente de aire frío que se extrae del ambiente que se está climatizando, el estudio se realizó tomando como temperaturas de entrada de aire fresco entre 30°C y 50°C, obteniendo como resultado que a una temperatura de 37.3°C se tuvo

un ahorro energético del 28.51%, el valor que obtuvieron es mayor que el que se obtuvo en el presente estudio pero esto se debe a que la temperatura de ingreso fue mayor (37.3°C) que se consideró en esta investigación (24.2°C). En el estudio experimental realizado por Yang et al., 2019 también se analizó el comportamiento de un intercambiador de calor instalado en un sistema de aire acondicionado convencional, colocado en la misma ubicación que se ha considerado en la presente investigación, y se obtuvo como una de las conclusiones principales que con el aumento de la temperatura de entrada de aire fresco, se logrará una mayor recuperación de carga térmica, es decir, mientras más caliente es el aire exterior mas favorable será el ahorro energético logrado por el intercambiador de calor HPHE.

Ibnu, Sukarno y Putra, 2021 realizaron un estudio experimental de la implementación de un intercambiador de calor en un sistema de aire acondicionado convencional, en este estudio consideraron una variación en la forma de instalación de los tubos de calor, considerando su montaje en forma de “U”, los resultados fueron similares a los obtenidos con intercambiadores que tienen diferente disposición de tubos de calor, encontrándose como resultado que con la implementación del intercambiador de calor HPHE se logra un ahorro energético de un valor del 12.4%, el cual es aproximadamente similar al obtenido en la presente investigación.

De lo mencionado se evidencia que al igual que otros estudios e investigaciones similares la implementación de un intercambiador de calor mediante tubos de calor (HPHE) reduce la carga térmica de un sistema de aire acondicionado necesario para climatizar un ambiente, sin embargo, los valores porcentuales de esta mejora o reducción varían de acuerdo a como varían factores como la temperatura de ingreso de aire fresco al equipo de aire acondicionado, la cual se tiene que mientras más alto es el valor de la temperatura del aire de ingreso, mayor será el porcentaje de reducción de la carga térmica y consumo eléctrico que requerirá el equipo de aire acondicionado para poder brindar los parámetros climáticos de confort a los pacientes y personal médico que se encuentran dentro del quirófano.

## **VI. CONCLUSIONES**

1. En la investigación se planteó como primer objetivo específico, diseñar el sistema de aire acondicionado convencional para un quirófano en la ciudad de Chiclayo, para esto se tomó los datos físicos del ambiente y datos del equipamiento que se encuentran en su interior, y los datos climatológicos del lugar donde se encuentra el quirófano, posteriormente se establecieron de acuerdo a lo establecido por la ASHRAE los parámetros de temperatura, humedad y cantidad de renovaciones por aire que deben tomarse en cuenta para brindar confort a las personas que se encuentran dentro de un quirófano.
2. Como segundo objetivo específico determinar la carga térmica del sistema de aire acondicionado convencional, para hallar la carga térmica se procesaron los datos del ítem anterior mediante el método CLTD/CLF/SCL de ASHARE, obteniéndose como resultado que el valor de carga térmica requerida es de 105,063.50 BTU/h.
3. Como tercer objetivo específico se diseñó el sistema de aire acondicionado con un intercambiador de calor mediante tubos de calor (HPHE) para lo cual se consideró una eficiencia de 52.85% del intercambiador HPHE con lo que se pudo obtener la nueva temperatura de ingreso de aire al sistema de aire acondicionado.
4. Como cuarto objetivo específico se determinó la carga térmica y consumo eléctrico del sistema de aire acondicionado con intercambiador de calor (HPHE), procesando nuevamente los datos con el método CLTD/CLF/SCL de ASHARE, de lo cual se obtuvo que el valor de carga térmica requerida es de 95,301.37 BTU/h.
5. Con los datos obtenidos se determinó que la implementación de un intercambiador HPHE (intercambiador de calor mediante tubos de calor) se puede reducir la carga térmica necesaria para climatizar un quirófano de acuerdo a los parámetros recomendados por la ASHRAE.
6. De la investigación realizada y en base a los valores establecidos se pudo obtener que la carga térmica se redujo en un 9.30% con la implementación de un intercambiador HPHE, concluyendo que se logró un ahorro energético.

## **VII. RECOMENDACIONES**

Una vez analizado los resultados obtenidos en esta investigación, se plantean las siguientes recomendaciones:

- Elaborar investigaciones en donde se pueda analizar los montos económicos que pueda involucrar la implementación de un intercambiador HPHE en un sistema de aire acondicionado de un quirófano, y con este resultado analizar en que tiempo se logra la recuperación de la inversión, considerando el ahorro energético que se logra.
- Realizar un estudio más profundo de la construcción de los intercambiadores HPHE, a fin de obtener cómo varía la eficiencia de estos componentes en función sus características, como cantidad de tubos, diámetro de tubos, implementación de aletas, fluido que viaje dentro de los tubos, entre otras características. Esto permitirá conocer como varía los porcentajes de ahorro energético en función de las características de un intercambiador de calor HPHE.
- Promover la utilización del método CLTD/CLF/SCL de la ASHRAE para calcular las cargas térmicas producidas dentro de un ambiente.

## REFERENCIAS

- ABDELAZIZ, G.B., ABDELBAKY, M.A., HALIM, M.A., OMARA, M.E., ELKHALDY, I.A., ABDULLAH, S., OMARA, Z.M., ESSA, F.A., ALI, A., SHARSHIR, S.W., EL-SAID, E.M.S., BEDAIR, A.G. y KABEEL, A.E., 2021. Energy saving via Heat Pipe Heat Exchanger in air conditioning applications “ experimental study and economic analysis ”. *Journal of Building Engineering* [en línea], vol. 35, no. November 2020, pp. 102053. ISSN 2352-7102. DOI 10.1016/j.job.2020.102053. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.job.2020.102053>.
- ALI, M., MAGHRABIE, H.M., TAHA, E., KAIS, E.A., ABO-KHALIL, A.G., AL, M., BAROUTAJI, A. y OLABI, G., 2022. Heat pipe-based waste heat recovery systems : Background and applications. *Thermal Science and Engineering Progress* [en línea], vol. 29, no. January, pp. 101221. ISSN 2451-9049. DOI 10.1016/j.tsep.2022.101221. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2022.101221>.
- CHEN, Y., 2018. Study on energy-saving design and operation of hospital purification air conditioning system. , no. April, pp. 184-190. DOI 10.1093/ijlct/cty013.
- DE, E., WEBER, M., MULLER, C.O., STANKE, D.A., OSBORN, J.E., HEDRICK, R.L., RASMUSSEN, R.D., BUTLER, D.S., ROGERS, L.J., APTE, M.G., SIANO, D.M., DAMIANO, L.A., GALLO, F.M., GIRMAN, J.R., HOWARD, E.P. y MAGEE, C.R., 2009. ESTÁNDAR ASHRAE Ventilacion para una Calidad Aceptable de Aire Interior. , vol. 2007.
- EIDAN, Adel A, ALSHUKRI, M.J., AL-FAHHAM, M., ALSAHLANI, A. y ABDULRIDHA, D.M., 2021. Case Studies in Thermal Engineering Optimizing the performance of the air conditioning system using an innovative heat pipe heat exchanger. *Case Studies in Thermal Engineering* [en línea], vol. 26, no. February, pp. 101075. ISSN 2214-157X. DOI 10.1016/j.csite.2021.101075. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.101075>.
- EIDAN, Adel A., ALSHUKRI, M.J., AL-FAHHAM, M., ALSAHLANI, A. y ABDULRIDHA, D.M., 2021. Optimizing the performance of the air conditioning system using an innovative heat pipe heat exchanger. *Case Studies in Thermal Engineering* [en línea], vol. 26, pp. 101075. ISSN 2214157X. DOI

- 10.1016/j.csite.2021.101075. Disponible en:  
<https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.101075>.
- ENERG, D.E., 2021. “ DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE PRESURIZACIÓN A 25 Pa PARA MANTENER EL CONFORT TÉRMICO DE LA SALA ELECTRICA 292400- ER- 001 EN LA UNIDAD MINERA TOQUEPALA ”. ,
- FEKADU, G. y SUBUDHI, S., 2018. Renewable energy for liquid desiccants air conditioning system : A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [en línea], vol. 93, no. April, pp. 364-379. ISSN 1364-0321. DOI 10.1016/j.rser.2018.05.016. Disponible en:  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.05.016>.
- FERN, M. y EGU, P., 2018. PT US CR. , DOI 10.1016/j.enbuild.2018.06.059.
- FONSECA, A., ABREU, I., GUERREIRO, M.J., ABREU, C., SILVA, R. y BARROS, N., 2019. Indoor air quality and sustainability management-Case study in three Portuguese healthcare units. *Sustainability (Switzerland)*, vol. 11, no. 1. ISSN 20711050. DOI 10.3390/su11010101.
- GARCÍA-SANZ-CALCEDO, J., AL-KASSIR, A. y YUSAF, T., 2018. Economic and environmental impact of energy saving in healthcare buildings. *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 8, no. 3. ISSN 20763417. DOI 10.3390/app8030440.
- GONZÁLEZ, A.G., GARCÍA-SANZ-CALCEDO, J. y SALGADO, D.R., 2018. A quantitative analysis of final energy consumption in hospitals in Spain. *Sustainable Cities and Society* [en línea], vol. 36, no. September 2017, pp. 169-175. ISSN 2210-6707. DOI 10.1016/j.scs.2017.10.029. Disponible en:  
<https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.10.029>.
- GRADO, T.D.E., GIOVANNI, C. y MARTINEZ, L., 2015. Sistemas de acondicionamiento de aire en arquitectura. ,
- GUTIERREZ, A.D., SEZER, H. y RAMIREZ, J.L., 2022. REQUIRED THERMAL COMFORT CONDITIONS INSIDE HOSPITAL OPERATING ROOMS ( ORS ): A NUMERICAL ASSESSMENT. , vol. 4. DOI 10.5098/hmt.18.4.
- HAKIM, I.I., PUTRA, N., MARDA, A.P., ALVARO, M.A. y WINARTA, A., 2018. Experimental study on utilization of heat pipe heat exchanger for improving efficiency of clean room air system in hospitals. *E3S Web of Conferences*, vol.



- 67, pp. 1-8. ISSN 22671242. DOI 10.1051/e3sconf/20186702056.
- HAKIM, I.I., PUTRA, N., SUKARNO, R., AUDI, M.R. y RACHMAN, F.F., 2020. Experimental study on utilization of heat pipe heat exchanger for energy conservation of air conditioning system in a hospitals and its techno-economic feasibility. *AIP Conference Proceedings*, vol. 2255, no. September. ISSN 15517616. DOI 10.1063/5.0014138.
- HERNÁNDEZ, M., PAREDES, R. y AMILCAR, F., 2010. *METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN: LAS RUTAS CUANTITATIVA, CUALITATIVA*. S.l.: s.n. ISBN 9781456260965.
- HOLMAN, J.P., [sin fecha]. *Transferencia de Calor*. S.l.: s.n. ISBN 9682606497.
- IBNU, I., SUKARNO, R. y PUTRA, N., 2021. Utilization of U-shaped finned heat pipe heat exchanger in energy-efficient HVAC systems. *Thermal Science and Engineering Progress* [en línea], vol. 25, pp. 100984. ISSN 2451-9049. DOI 10.1016/j.tsep.2021.100984. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2021.100984>.
- JI, R. y QU, S., 2019. Investigation and evaluation of energy consumption performance for hospital buildings in China. *Sustainability (Switzerland)*, vol. 11, no. 6. ISSN 20711050. DOI 10.3390/su11061724.
- JOUHARA, H. y MESKIMMON, R., 2018. An investigation into the use of water as a working fluid in wraparound loop heat pipe heat exchanger for applications in energy efficient HVAC systems. *Energy* [en línea], vol. 156, pp. 597-605. ISSN 03605442. DOI 10.1016/j.energy.2018.05.134. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.05.134>.
- JOUHARA, H. y YANG, J., 2018. Energy & Buildings Energy efficient HVAC systems. *Energy & Buildings* [en línea], vol. 179, pp. 83-85. ISSN 0378-7788. DOI 10.1016/j.enbuild.2018.09.001. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.09.001>.
- JULIO, G., ARTÍCULO, D. y EDITOR, S., 2017. Cómo se genera una investigación científica que luego sea motivo de publicación “ Selva Andina. , pp. 5-6.
- KUSUMAH, A.S., HAKIM, I.I., SUKARNO, R., RACHMAN, F.F. y PUTRA, N., 2019. The application of u-shape heat pipe heat exchanger to reduce relative humidity for energy conservation in heating, ventilation, and air conditioning

- (HVAC) systems. *International Journal of Technology*, vol. 10, no. 6, pp. 1202-1210. ISSN 20872100. DOI 10.14716/ijtech.v10i6.3650.
- LIU, Y., WANG, Z., ZHANG, Z., HONG, J. y LIN, B., 2018. Investigation on the Indoor Environment Quality of health care facilities in China. *Building and Environment* [en línea], vol. 141, pp. 273-287. ISSN 03601323. DOI 10.1016/j.buildenv.2018.05.054. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.05.054>.
- MUHAMMAD, N., RAHMAN, A., HAW, C. y FAZLIZAN, A., 2021. Optimizing the energy saving potential of public hospital through a systematic approach for green building certification in Malaysia. *Journal of Building Engineering* [en línea], vol. 43, no. December 2020, pp. 103088. ISSN 2352-7102. DOI 10.1016/j.job.2021.103088. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.job.2021.103088>.
- MUHAMMADDIYAH, S., WINARTA, A. y PUTRA, N., 2018. Experimental study of multi-fin heat pipe heat exchanger for energy efficiency in operating room air systems. *International Journal of Technology*, vol. 9, no. 2, pp. 422-429. ISSN 20872100. DOI 10.14716/ijtech.v9i2.1150.
- NACIONAL, U., SAN, M.D.E. y TÉCNICA, M., 2016. Diseño de un sistema de aire acondicionado para un restaurante ubicado en la ciudad de Lima Para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico de Fluidos. ,
- POROWSKI, M., 2019. Energy optimization of HVAC system from a holistic perspective: Operating theater application. *Energy Conversion and Management* [en línea], vol. 182, no. September 2018, pp. 461-496. ISSN 01968904. DOI 10.1016/j.enconman.2018.12.003. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.12.003>.
- SALVADOR, U.D.E.E.L., 2016. Medidor de Eficiencia Energética para aires acondicionados de expansión con monitoreo remoto. ,
- SÁNCHEZ-BARROSO MORENO, G., GARCÍA-SANZ CALCEDO, J., GONZÁLEZ, A.G. y SALGADO, D.R., 2019. Sustainable solutions for thermal energy saving in hospital operating theatres. *E3S Web of Conferences*, vol. 85, pp. 1-5. ISSN 22671242. DOI 10.1051/e3sconf/20198501002.
- SÁNCHEZ, A.P., GONZÁLEZ, E.R., SÁNCHEZ, E.P., LIAÑO, N. y SICILIA, C.G., 2020. Diseño térmico de un intercambiador de calor de tubo y coraza para el

- enfriamiento de metanol Thermal design of a shell-and-tube heat exchanger for methanol cooling. , pp. 753-776.
- SARAN, S., GURJAR, M., BARONIA, A., SIVAPURAPU, V., GHOSH, P.S. y RAJU, G.M., 2020. Heating , ventilation and air conditioning ( HVAC ) in intensive care unit. , pp. 1-11.
- SUKARNO, R., PUTRA, N., HAKIM, I.I., RACHMAN, F.F. y MAHLIA, T.M.I., 2021. Multi-stage heat-pipe heat exchanger for improving energy efficiency of the HVAC system in a hospital operating room. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, vol. 16, no. 2, pp. 259-267. ISSN 17481325. DOI 10.1093/ijlct/ctaa048.
- SUKARNO, R., PUTRA, N., IBNU, I. y FUAD, F., 2021. Utilizing heat pipe heat exchanger to reduce the energy consumption of airborne infection isolation hospital room HVAC system. *Journal of Building Engineering* [en línea], vol. 35, no. November 2020, pp. 102116. ISSN 2352-7102. DOI 10.1016/j.jobe.2020.102116. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.102116>.
- WANG, Z., DE DEAR, R., LUO, M., LIN, B., HE, Y., GHAHRAMANI, A. y ZHU, Y., 2018. Individual difference in thermal comfort: A literature review. *Building and Environment* [en línea], vol. 138, pp. 181-193. ISSN 03601323. DOI 10.1016/j.buildenv.2018.04.040. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.04.040>.
- WU, H.T., LI, Q.S., DAI, R.C., LIU, S., WU, L. y MAO, W., 2021. Effects of air-conditioning systems in the public areas of hospitals : A scoping review. ,
- YANG, H., WANG, J., WANG, N. y YANG, F., 2019. Energy & Buildings Experimental study on a pulsating heat pipe heat exchanger for energy saving in air-conditioning system in summer. *Energy & Buildings* [en línea], vol. 197, pp. 1-6. ISSN 0378-7788. DOI 10.1016/j.enbuild.2019.05.032. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.05.032>.

## ANEXOS

### Anexo 1: Tabla de tipos de carga térmica en un ambiente (ASHRAE)

<b>TIPO DE CARGA</b>	<b>CALOR SENSIBLE</b>	<b>CALOR LATENTE</b>
Cargas solares	X	
Carga a través de barreras	X	
Carga por iluminación	X	
Carga por personas	X	X
Carga por renovación de aire exterior	X	X
Carga por equipamiento	X	

Fuente: American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE) Handbook of Fundamentals, 1985

## Anexo 2: Factor de carga por enfriamiento por luces

Nº DE HR DESPUES DE ENCENDIDAS LAS LUCES	X**		Y***	
	HORAS DE OPERACIÓN		HORAS DE OPERACIÓN	
	10	16	10	16
0	0,08	0,19	0,01	0,05
1	0,62	0,72	0,76	0,79
2	0,66	0,75	0,81	0,83
3	0,69	0,77	0,84	0,87
4	0,73	0,80	0,88	0,89
5	0,75	0,82	0,9	0,91
6	0,78	0,84	0,92	0,93
7	0,80	0,85	0,93	0,94
8	0,82	0,87	0,95	0,95
9	0,84	0,88	0,96	0,96
10	0,85	0,89	0,97	0,97
11	0,32	0,90	0,22	0,98
12	0,29	0,91	0,18	0,98
13	0,26	0,92	0,14	0,98
14	0,23	0,93	0,12	0,99
15	0,21	0,94	0,09	0,99
16	0,19	0,94	0,08	0,99
17	0,17	0,40	0,06	0,24
18	0,15	0,36	0,05	0,20

\*\* Lámparas no ventiladas, rejillas debajo del cielo raso

\*\*\* Lámparas ventiladas o que cuelgan libremente

Fuente: VILLEGAS ALZATE, S. Diseño de sistema de aire acondicionado para el área de quirófanos de la clínica la Sagrada Familia

### Anexo 3: Número / cantidad de personas dentro de quirófano

<b>Cantidad de personas en el quirófano</b>	
<b>Actividad</b>	<b>Numero de persona</b>
Pacientes	1
Anestesiólogo	1
Enfermera Instrumentista	2
Enfermera Circulante	1
Cirujanos	2
Neuro físico, Perfucionista	1
Personas de presencia temporal	1
<b>TOTAL DE PERSONAS</b>	<b>9</b>
<b>Nota: Se determina a foro que el máximo de persona dentro del quirófano será de 10 excluyendo al paciente.</b>	

Fuente: VILLEGAS ALZATE, S. Diseño de sistema de aire acondicionado para el área de quirófanos de la clínica la Sagrada Familia

**Anexo 4: Valores de ganancia de calor por persona según la actividad que realizan**

GRADO DE ACTIVIDAD	APLICACION TIPICA	Calor total, hombres adultos		Calor total ajustado		Calor sensible		Calor latente	
		W	Btu/hr	W	Btu/hr	W	Btu/hr	W	Btu/hr
Sentados en un teatro	Teatro (matinée)	114	390	97	330	66	225	31	105
Sentados en un teatro	teatro (función nocturna)	114	390	103	350	72	245	31	105
Sentados, haciendo un trabajo ligero	oficinas, hoteles, departamentos	132	450	117	400	72	245	45	155
Realizando trabajo moderado de la oficina	oficinas, hoteles, departamentos	139	475	132	450	73	250	59	200
Parados, haciendo un trabajo ligero o caminando	Tiendas de departamentos, tienda al menudeo	162	550	132	450	73	250	59	200
Caminando o de pie	Farmacia, banco	162	550	146	500	73	250	73	250
Realizando un trabajo sedentario	Restaurante	144	490	162	550	81	275	81	275
Haciendo un trabajo de banco ligero	Fabrica	253	800	20	750	81	275	139	475
Bailando a ritmo moderado	Salón de baile	264	900	249	850	89	305	160	545
Caminando a 3 MPH; haciendo un trabajo a maquina ligero	Fabrica	293	1000	293	1000	110	375	183	625
Jugando a los bolos	Boliche	440	1500	425	1450	170	580	255	870
Realizando un trabajo pesado	Fabrica	440	1500	425	1450	170	580	255	870
Manejando maquinaria pesada, levantando objetos	Fabrica	469	1600	469	1600	186	635	283	965
Haciendo rutinas atleticas	Gimnasio	586	2000	2000	1800	208	710	320	1090

Fuente: American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE) Handbook of Fundamentals, 1985, Capítulo 26, Tabla 18

**Anexo 5: Valores de ganancia de calor por persona según la actividad que realizan. Valores de porcentaje de carga sensible.**

<b>Actividad</b>	<b>Qp (w)</b>	<b>PS</b>
Durmiendo	70	0,70
Sentado	100	0,60
Parado	150	0,50
Trabajo de Oficina	150	0,55
Enseñando	175	0,50
Caminando (83 Kh./h)	305	0,35
Industrial	300-600	0,35

Fuente: VILLEGAS ALZATE, S. Diseño de sistema de aire acondicionado para el área de quirófanos de la clínica la Sagrada Familia



**Anexo 6: Factor de enfriamiento por ocupantes para calor sensible**

Horas despues de entrada al Espacio	Total del Horas en el Espacio							
	2	4	6	8	10	12	14	16
1	0,49	0,49	0,50	0,51	0,53	0,55	0,58	0,62
2	0,58	0,59	0,60	0,61	0,62	0,64	0,66	0,70
3	0,17	0,66	0,67	0,67	0,69	0,70	0,82	0,75
4	0,13	0,71	0,72	0,72	0,74	0,75	0,77	0,79
5	0,10	0,27	0,76	0,76	0,70	0,79	0,80	0,82
6	0,08	0,21	0,79	0,80	0,80	0,81	0,83	0,85
7	0,07	0,16	0,34	0,82	0,83	0,84	0,85	0,87
8	0,06	0,14	0,26	0,84	0,85	0,86	0,87	0,88
9	0,05	0,11	0,21	0,38	0,87	0,88	0,89	0,90
10	0,04	0,10	0,18	0,30	0,89	0,89	0,90	0,91
11	0,04	0,08	0,15	0,25	0,42	0,91	0,91	0,92
12	0,03	0,07	0,13	0,21	0,34	0,92	0,92	0,93
13	0,03	0,06	0,11	0,18	0,28	0,45	0,93	0,94
14	0,02	0,06	0,10	0,15	0,23	0,96	0,94	0,95
15	0,02	0,05	0,08	0,13	0,20	0,30	0,47	0,95
16	0,02	0,04	0,07	0,12	0,17	0,25	0,38	0,96
17	0,02	0,04	0,06	0,10	0,15	0,21	0,31	0,49
18	0,01	0,03	0,06	0,09	0,13	0,19	0,26	0,39

Fuente: American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Enginners (ASHRAE) Handbook of Fundamentals, Capítulo 26, Tabla 19

**Anexo 7: Requisitos de ventilación para áreas que afectan la atención de pacientes en hospitales e instalaciones para pacientes ambulatorios**

**Table 3 Ventilation Requirements for Areas Affecting Patient Care in Hospitals and Outpatient Facilities**

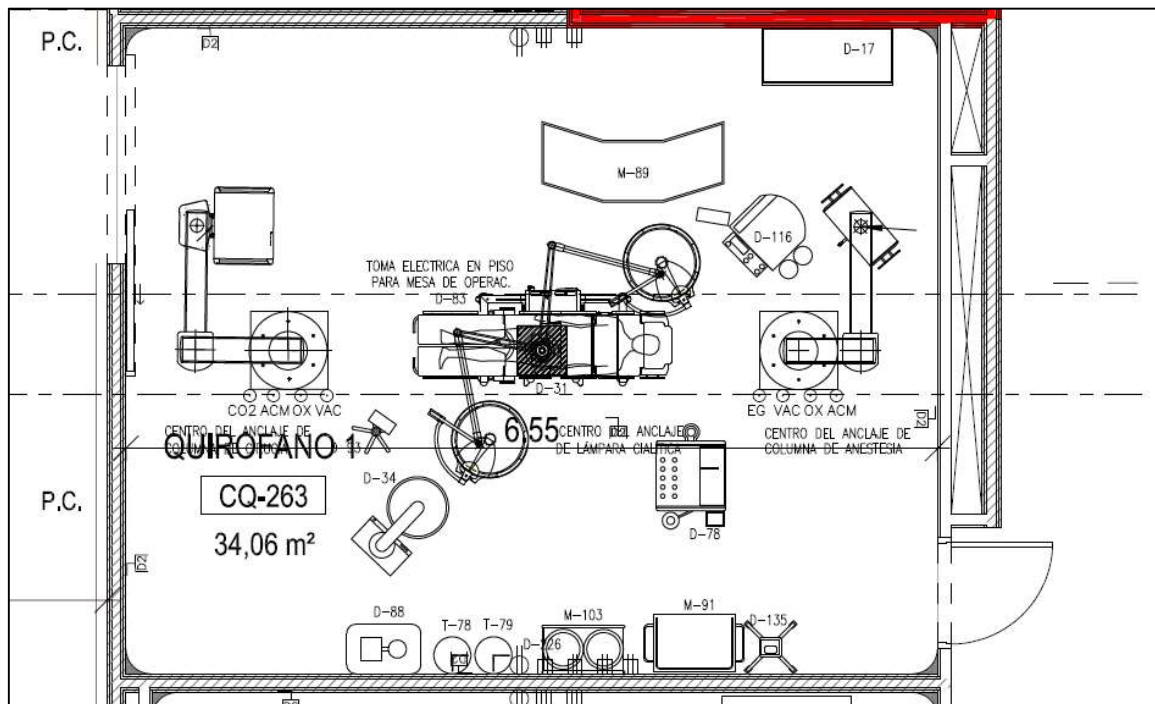
Function Space	Pressure Relationship to Adjacent Areas <sup>a</sup>	Minimum Changes of Air per Hour <sup>b</sup>	Minimum Total Air Changes per Hour <sup>c</sup>	All Air		Recirculated Air Units <sup>d</sup>	Relative Humidity, <sup>e</sup> %	Design Temperature, <sup>o</sup> °C
				Exhausted Directly to Outside <sup>m</sup>	Within Room			
<b>Surgery and Critical Care</b>								
Operating room (class B and positive C surgical)	Positive	4	20	—	—	No	30 to 60	17 to 27
Operating/surgical cystoscopic rooms <sup>e, p, q</sup>	Positive	4	20	—	—	No	30 to 60	20 to 23 <sup>r</sup>
Delivery room <sup>p</sup>	Positive	4	20	—	—	No	30 to 60	20 to 23
Recovery room <sup>p</sup>	—* <sup>r</sup>	2	6	—	—	No	30 to 60	24 ± 1
Critical or intensive care (burn or intermediate)	Positive <sup>†</sup>	2	6	—	—	No	30 to 60	21 to 24
Newborn intensive care	Positive <sup>†</sup>	2	6	—	—	No	30 to 60	22 to 26
Treatment room <sup>s</sup>	—* <sup>r</sup>	2	6	—	—	—	30 to 60	21 to 24
Nursery suite	Positive	5	12	—	—	No	30 to 60	24 to 27
Trauma room <sup>f, s</sup>	Positive	5	12	—	—	No	30 to 60	22 to 26
Trauma room (crisis or shock)	—	3	15	—	—	No	30 to 60	22 to 26
Anesthesia gas storage	Negative	—	8	Yes	—	—	—	—
GI endoscopy <sup>ab</sup>	—	2	6	—	—	No	30 to 60	20 to 23
Bronchoscopy <sup>d</sup>	Negative	2	12	Yes	—	No	30 to 60	20 to 23
Emergency waiting rooms	Negative	2	12	Yes	—	—	30 to 60	22 to 26
Triage areas	Negative	2	12	Yes	—	—	—	21 to 24
Radiology waiting rooms	Negative	2	12	Yes <sup>t</sup>	—	—	—	21 to 24
Procedure room (class A surgical)	Positive	3	15	—	—	No	30 to 60	21 to 24

Fuente: American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers 2007, Capitulo 7 “Aire Acondicionado en Centros De Salud”.

## Anexo 8: lista de equipos instalados

ITEM	CODIGO	DESCRIPCION	POTENCIA ELECTRICA (KW)
1	D-31	LAMPARA QUIRURGICA DE TECHO DE INTENSIDAD ALTA	0.32
2	D-83	MESA DE OPERACIONES ELECTRICA DE USO BASICO + TRAUMATOLOGIA	1.00
3	D-34	LAMPARA QUIRURGICA RODABLE	0.60
4	D-78	ELECTROBISTURI MONO/BIPOLAR DE POTENCIA ALTA	0.35
5	D-116	UNIDAD DE ANESTESIA CON SISTEMA DE MONITOREO COMPLETO	2.20
6	D-88	ASPIRADOR DE SECRECIONES RODABLE	0.20
7	M-103	PORTALAVATORIO DOBLE DE ACERO INOX. RODABLE CON GABINETES	0.00
8	M-91	MESA RODABLE DE ACERO INOXIDABLE PARA MULTIPLES USOS	0.00
9	D-135	TENSIOMETRO ANEROIDE RODABLE ADULTO	0.00
10	D-17	PULSIOXIMETRO	0.00
11		COLUMNA DE GASES	6.40
12		COLUMNA DE ANESTESIA	6.40
<b>POTENCIA TOTAL(KW):</b>			<b>17.47</b>

Fuente: Elaboración propia, realizada en base a fichas técnicas de equipos.



Distribución de equipamiento dentro de sala quirúrgica.

**Anexo 9: Factor de enfriamiento para equipos.**

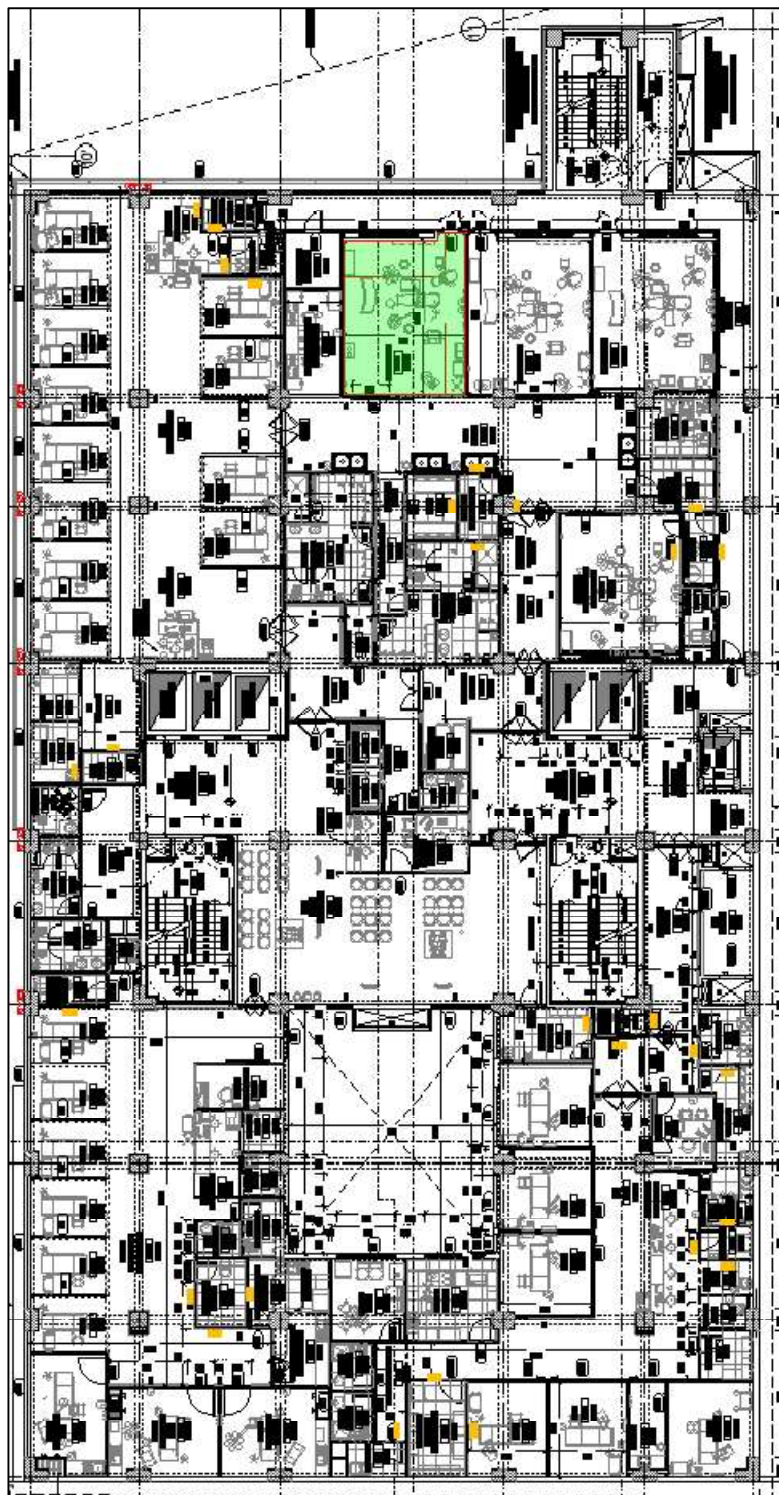
Total de horas en operación	Horas despues de encendido el equipo													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0,27	0,40	0,25	0,18	0,14	0,11	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,04	0,03
4	0,28	0,41	0,51	0,59	0,39	0,30	0,24	0,70	0,16	0,14	0,12	0,10	0,09	0,08
6	0,29	0,42	0,52	0,59	0,65	0,70	0,48	0,75	0,30	0,25	0,21	0,18	0,16	0,14
8	0,31	0,44	0,54	0,61	0,66	0,71	0,75	0,79	0,55	0,43	0,35	0,30	0,25	0,22
10	0,33	0,46	0,55	0,62	0,68	0,72	0,76	0,82	0,81	0,84	0,61	0,48	0,39	0,33
12	0,36	0,49	0,58	0,64	0,69	0,74	0,77	0,85	0,82	0,85	0,87	0,88	0,64	0,51
14	0,40	0,52	0,61	0,67	0,72	0,76	0,79	0,87	0,84	0,86	0,88	0,89	0,91	0,92
16	0,45	0,57	0,65	0,70	0,75	0,78	0,81	0,88	0,88	0,87	0,89	0,90	0,92	0,93
18	0,52	0,63	0,70	0,75	0,79	0,82	0,84	0,90	0,86	0,89	0,91	0,92	0,93	0,94

Fuente: American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE) Handbook of Fundamentals, Capítulo 26, Tabla 24

## Anexo 10: Matriz de operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Escala de medición
Carga térmica	Se define como la cantidad de calor que se debe transferir hacia un ambiente a fin de poder garantizar que se mantengan a ciertas condiciones de temperatura y humedad relativa, el calor necesario es generado por un equipo externo (Camacho y Tomasto, 2021)	Se aplicarán fórmulas de transferencia de calor y con el valor de los indicadores se podrá calcular el valor de la carga térmica necesaria para poder brindar el confort necesario en el interior del ambiente a climatizar.	Dimensiones de ambiente, parámetros ambientales externos e internos, velocidad y temperatura de ingreso de aire.	De razón

**Anexo 11: Ubicación de Quirófano. Vista de planta de 2do nivel de Clínica, con la ubicación de Quirófano.**



## Anexo 12: Tabla de cálculo de cargas térmicas con un equipo de aire acondicionado convencional.

CARGAS TERMICAS PARA QUIRÓFANO - CONSIDERANDO SISTEMA CONVENCIONAL			
<b>CARGA POR ILUMINACIÓN</b> $Q_{ilum} = Q_{inc} + Q_{flu} + Q_{neon}$		<b>CARGA POR EQUIPAMIENTO</b> $Q_{eq} = Q_{eq.sens} + Q_{eq.lat}$	
$Q_{inc} = \sum (W_{inc} \times F_u \times CLF_{lucos})$		$Q_{eq.sens} = \sum_{k=1}^m (Q_{SE} \times NE \times F_u \times CLF)_k$	
$Q_{flu} = \sum (W_{flu} \times 1.2 \times F_u \times CLF_{lucos})$		$Q_{eq.lat} = \sum_{k=1}^m (Q_{LE} \times NE \times F_u)_k$	
$Q_{neon} = \sum (W_{neon} \times 1.2 \times F_u \times CLF_{lucos})$			
Número de lámparas incandescentes:	0	Potencia de equipos instalados (ver anexo 7) (W):	17,470.00
Número de lámparas de neón:	0	CLF: Factor de enfriamiento por equipo (ver anexo 8 - 16 horas de trabajo):	0.88
Número de lámparas fluorescentes:	12	NE: número de equipos	1.00
Potencia de cada lámpara fluorescente (W):	48	Fu: fracción de equipos en funcionamiento:	1.00
Factor de utilización (siempre encendidas):	1.00	Calor sensible por equipamiento (W):	15,373.60
Factor de carga por enfriamiento-(ver anexo 1):	1.00	Calor latente por equipamiento (W):	0.00
<b>Calor por iluminación (W):</b>	<b>691.2</b>	<b>Calor total por equipamiento (W):</b>	<b>15,373.60</b>
<b>Calor por iluminación (BTU/h):</b>	<b>2,356.99</b>	<b>Calor por iluminación (BTU/h):</b>	<b>52,423.98</b>
<b>CARGA POR RENOVACIÓN DE AIRE EXTERIOR</b> $Q_{renov} = Q_{renov.sens} + Q_{renov.lat}$			
$Q_{renov.sens} = 1.08 \times Caudal \times 1.8 \times (T_{ext} - T_{int})$		$Q_{renov.lat} = 0.68 \times Caudal \times (W_{ext} - W_{int})$	
Nro de renovaciones de aire:	20	Altura (m):	3.00
Medidas del ambiente		Volumen de ambiente (m3):	101.40
Longitud (m):	6.50	Caudal: Volumen de aire requerido para garantizar la renovación de aire (cfm):	1194.03
Ancho (m):	5.20		
Caudal: Volumen de aire requerido para garantizar la renovación de aire (m3/h):	2028.00		
<b>Calor sensible por renovación de aire</b>		<b>Calor sensible por renovación de aire</b>	
Caudal (cfm):	1,194.03	Caudal (cfm):	1,194.03
T° exterior (°C):	24.20	HR exterior (%):	60
T° interior (°C):	20.00	HR interior (%):	50
<b>Calor sensible por renovación de aire (W):</b>	<b>5,416.10</b>	<b>Calor latente por renovación de aire (W):</b>	<b>8,119.37</b>
<b>Calor total por renovación de aire (W):</b>	<b>13,535.47</b>	<b>Calor total por renovación de aire (BTU/h):</b>	<b>46,155.97</b>

**Anexo 12 (continuación): Tabla de cálculo de cargas térmicas con un equipo de aire acondicionado convencional.**

CARGAS TERMICAS PARA QUIRÓFANO - CONSIDERANDO SISTEMA CONVENCIONAL			
<b>CARGA POR PERSONAS</b>		$Q_{pers} = Q_{pers.sens} + Q_{pers.lat}$	
<b>Calor sensible por personas</b>	$Q_{pers.sens} = \sum_i^n (NP \times Q_p \times PS \times CLF_{pers})_i$	<b>Calor latente por personas</b>	$Q_{pers.lat} = \sum_i^n (NP \times Q_p \times (1 - PS))_i$
<b>Calor por cirujanos:</b>		<b>Calor por anestesiólogo y otras personas:</b>	
NP: Número de personas (ver anexo 2):	2	NP: Número de personas (ver anexo 2):	3
Qp: Ganancia de calor por persona (ver anexo 3 - parado haciendo trabajo ligero) (W):	162	Qp: Ganancia de calor por persona (ver anexo 3 - trabajo moderado) (W):	139
PS: Porcentaje de carga sensible (ver anexo 4 - trabajo de oficina):	0.55	PS: Porcentaje de carga sensible (ver anexo 4 - trabajo de oficina):	0.55
CLF: Factor de enfriamiento por ocupante (ver anexo 5 - 16 horas de trabajo):	0.88	CLF: Factor de enfriamiento por ocupante (ver anexo 5 - 16 horas de trabajo):	0.88
Calor sensible por cirujanos (W):	156.82	Calor sensible por cirujanos (W):	201.83
Calor latente por cirujanos (W):	145.80	Calor latente por cirujanos (W):	187.65
<b>Calor por enfermera e instrumentistas:</b>		<b>Calor por paciente:</b>	
NP: Número de personas (ver anexo 2):	3	NP: Número de personas (ver anexo 2):	1
Qp: Ganancia de calor por persona (ver anexo 3 - caminando de pie) (W):	162	Qp: Ganancia de calor por persona (ver anexo 3 - dormido) (W):	70
PS: Porcentaje de carga sensible (ver anexo 4 - trabajo de oficina):	0.55	PS: Porcentaje de carga sensible (ver anexo 4 - trabajo de oficina):	0.7
CLF: Factor de enfriamiento por ocupante (ver anexo 5 - 16 horas de trabajo):	0.88	CLF: Factor de enfriamiento por ocupante (ver anexo 5 - 16 horas de trabajo):	0.88
Calor sensible por cirujanos (W):	235.22	Calor sensible por cirujanos (W):	43.12
Calor latente por cirujanos (W):	218.70	Calor latente por cirujanos (W):	21.00
Calor sensible Total (W):	636.99		
Calor latente Total (W):	573.15		
<b>Calor total por personas (W):</b>	<b>1,210.14</b>		
<b>Calor total por personas (BTU/h):</b>	<b>4,126.57</b>		
<b>CARGA TÉRMICA TOTAL REQUERIDA (BTU/h)</b>			
CARGA POR ILUMINACIÓN	2,356.99	CARGA POR PERSONAS	4,126.57
CARGA POR EQUIPAMIENTO	52,423.98	CARGA POR RENOVACIÓN DE AIRE EXTERIOR	46,155.97
<b>CARGA TOTAL REQUERIDA (BTU/h):</b>	<b>105,063.50</b>		

Fuente: Elaboración propia, realizada en base a fichas técnicas de equipos.



**Anexo 13: Tabla de cálculo de cargas térmicas con un equipo de aire acondicionado con intercambiador de calor HPHE.**

CARGAS TERMICAS PARA QUIRÓFANO - CONSIDERANDO INSTALACION DE INTERCAMBIADOR HPHE			
<b>CARGA POR ILUMINACIÓN</b> $Q_{ilum} = Q_{inc} + Q_{flu} + Q_{neon}$		<b>CARGA POR EQUIPAMIENTO</b> $Q_{eq} = Q_{eq.sens} + Q_{eq.lat}$	
$Q_{inc} = \sum (W_{inc} \times F_u \times CLF_{lucos})$		$Q_{eq.sens} = \sum_{k=1}^m (Q_{SE} \times NE \times F_u \times CLF)_k$	
$Q_{flu} = \sum (W_{flu} \times 1.2 \times F_u \times CLF_{lucos})$		$Q_{eq.lat} = \sum_{k=1}^m (Q_{LE} \times NE \times F_u)_k$	
$Q_{neon} = \sum (W_{neon} \times 1.2 \times F_u \times CLF_{lucos})$		Potencia de equipos instalados (ver anexo 7) (W): 17,470.00	
Número de lámparas incandescentes: 0		CLF: Factor de enfriamiento por equipo (ver anexo 8 - 16 horas de trabajo): 0.88	
Número de lámparas de neón: 0		NE: número de equipos 1.00	
Número de lámparas fluorescentes: 12		Fu: fracción de equipos en funcionamiento: 1.00	
Potencia de cada lámpara fluorescente (W): 48		Calor sensible por equipamiento (W): 15,373.60	
Factor de utilización (siempre encendidas): 1.00		Calor latente por equipamiento (W): 0.00	
Factor de carga por enfriamiento-(ver anexo 1): 1.00		<b>Calor total por equipamiento (W): 15,373.60</b>	
<b>Calor por iluminación (W): 691.2</b>		<b>Calor por iluminación (BTU/h): 52,423.98</b>	
<b>Calor por iluminación (BTU/h): 2,356.99</b>			
<b>CARGA POR RENOVACIÓN DE AIRE EXTERIOR</b> $Q_{renov} = Q_{renov.sens} + Q_{renov.lat}$			
$Q_{renov.sens} = 1.08 \times Caudal \times 1.8 \times (T_{ext} - T_{int})$		$Q_{renov.lat} = 0.68 \times Caudal \times (W_{ext} - W_{int})$	
Nro de renovaciones de aire: 20			
Medidas del ambiente			
Longitud (m): 6.50		Altura (m): 3.00	
Ancho (m): 5.20		Volumen de ambiente (m3): 101.40	
Caudal: Volumen de aire requerido para garantizar la renovación de aire (m3/h): 2028.00		Caudal: Volumen de aire requerido para garantizar la renovación de aire (cfm): 1194.03	
<b>Calor sensible por renovación de aire</b>			
Caudal (cfm): 1,194.03		Caudal (cfm): 1,194.03	
T° exterior (°C): 21.98		HR exterior (%): 60	
T° interior (°C): 20.00		HR interior (%): 50	
<b>Calor sensible por renovación de aire (W): 2,553.30</b>		<b>Calor latente por renovación de aire (W): 8,119.37</b>	
<b>Calor total por renovación de aire (W): 10,672.68</b>		<b>Calor total por renovación de aire (BTU/h): 36,393.83</b>	

**Anexo 13 (continuación): Tabla de cálculo de cargas térmicas con un equipo de aire acondicionado con intercambiador de calor HPHE.**

CARGAS TÉRMICAS PARA QUIRÓFANO - CONSIDERANDO INSTALACION DE INTERCAMBIADOR HPHE			
CARGA POR PERSONAS		$Q_{pers} = Q_{pers.sens} + Q_{pers.lat}$	
Calor sensible por personas	$Q_{pers.sens} = \sum_i^n (NP \times Q_p \times PS \times CLF_{pers})_i$		Calor latente por personas
			$Q_{pers.lat} = \sum_i^n (NP \times Q_p \times (1 - PS))_i$
<b>Calor por cirujanos:</b>		<b>Calor por anestesiólogo y otras personas:</b>	
NP: Número de personas (ver anexo 2):	2	NP: Número de personas (ver anexo 2):	3
Qp: Ganancia de calor por persona (ver anexo 3 - parado haciendo trabajo ligero) (W):	162	Qp: Ganancia de calor por persona (ver anexo 3 - trabajo moderado) (W):	139
PS: Porcentaje de carga sensible (ver anexo 4 - trabajo de oficina):	0.55	PS: Porcentaje de carga sensible (ver anexo 4 - trabajo de oficina):	0.55
CLF: Factor de enfriamiento por ocupante (ver anexo 5 - 16 horas de trabajo):	0.88	CLF: Factor de enfriamiento por ocupante (ver anexo 5 - 16 horas de trabajo):	0.88
Calor sensible por cirujanos (W):	156.82	Calor sensible por cirujanos (W):	201.83
Calor latente por cirujanos (W):	145.80	Calor latente por cirujanos (W):	187.65
<b>Calor por enfermera e instrumentistas:</b>		<b>Calor por paciente:</b>	
NP: Número de personas (ver anexo 2):	3	NP: Número de personas (ver anexo 2):	1
Qp: Ganancia de calor por persona (ver anexo 3 - caminando de pie) (W):	162	Qp: Ganancia de calor por persona (ver anexo 3 - dormido) (W):	70
PS: Porcentaje de carga sensible (ver anexo 4 - trabajo de oficina):	0.55	PS: Porcentaje de carga sensible (ver anexo 4 - trabajo de oficina):	0.7
CLF: Factor de enfriamiento por ocupante (ver anexo 5 - 16 horas de trabajo):	0.88	CLF: Factor de enfriamiento por ocupante (ver anexo 5 - 16 horas de trabajo):	0.88
Calor sensible por cirujanos (W):	235.22	Calor sensible por cirujanos (W):	43.12
Calor latente por cirujanos (W):	218.70	Calor latente por cirujanos (W):	21.00
Calor sensible Total (W):	636.99		
Calor latente Total (W):	573.15		
<b>Calor total por personas (W):</b>	<b>1,210.14</b>		
<b>Calor total por personas (BTU/h):</b>	<b>4,126.57</b>		
<b>CARGA TÉRMICA TOTAL REQUERIDA (BTU/h)</b>			
CARGA POR ILUMINACIÓN	2,356.99	CARGA POR PERSONAS	36,393.83
CARGA POR EQUIPAMIENTO	52,423.98	CARGA POR RENOVACIÓN DE AIRE EXTERIOR	4,126.57
<b>CARGA TOTAL REQUERIDA (BTU/h):</b>	<b>95,301.37</b>		

Fuente: Elaboración propia, realizada en base a fichas técnicas de equipos.



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

### **Declaratoria de Autenticidad del Asesor**

Yo, CASTRO ANTICONA WALTER MIGUEL, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, asesor de Tesis titulada: "Sistema de aire acondicionado con intercambiador HPHE para reducir la carga térmica en un quirófano - Chiclayo", cuyo autor es VALLADOLID ALFARO EDWIN JONATHAN, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 19.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

TRUJILLO, 06 de Diciembre del 2022

<b>Apellidos y Nombres del Asesor:</b>	<b>Firma</b>
CASTRO ANTICONA WALTER MIGUEL <b>DNI:</b> 18173382 <b>ORCID:</b> 0000-0002-8127-4040	Firmado electrónicamente por: CASTROA el 19-12- 2022 19:56:20

Código documento Trilce: TRI - 0475573