

USO RACIONAL Y EFICIENTE DE LA ENERGÍA EN LA CLIMATIZACIÓN DE EDIFICIOS HOSPITALARIOS. CASO DE APLICACIÓN EN LA CIUDAD DE LA PLATA.

Arocas, Sergio Martín^a, Coria Hoffmann, Geraldine^a, Fondoso Ossola, Santiago Tomás^b, Urteche, Emilia^b, Martiarena, Tomás^a

^a UIDET IAME Departamento de Mecánica Facultad de Ingeniería UNLP

^b Instituto de Investigaciones y Políticas del Ambiente Construido IIPAC (CONICET – FAU UNLP)
martinarocas@yahoo.com.ar

RESUMEN.

En el proceso de transición energética, el uso racional y eficiente de la energía se concibe como instrumento para la consecución de los objetivos de desarrollo sustentable. La aplicación conjunta de eficiencia energética y fuentes sustentables de energía representa una estrategia que merece afrontarse en los sectores de consumo y a diferente escala, en virtud de sus múltiples beneficios. En el sector de los edificios hospitalarios, caracterizados por ser intensivos energéticamente, su principal consumo de energía se presenta en los sistemas de climatización y ventilación, debido a las condiciones ambientales requeridas en su interior, siendo el control del aire de ventilación más estricto que en otros edificios.

El objetivo del presente trabajo es abordar el uso racional y eficiente de la energía en el sistema de climatización de edificios hospitalarios como estrategia de sustentabilidad y considerando el cumplimiento de requerimientos de confort térmico y calidad de aire interior. Para ello se propone una metodología que consiste en nueve etapas, que se aplicó a un hospital de 170 camas ubicado en ciudad de La Plata, provincia de Buenos Aires.

Los resultados demuestran que solamente en ciertas áreas de servicios médicos del hospital analizado se cuenta con un sistema de climatización y ventilación que es acorde a lo exigido por la normativa. A su vez, las mediciones realizadas de temperatura y humedad relativa dentro de los locales del edificio arrojaron un bajo porcentaje de cumplimiento normativo. De forma complementaria, la toma y análisis de imágenes termográficas de la envolvente del edificio evidencian pérdidas/ganancias térmicas en ciertas zonas, repercutiendo en el consumo de energía del sistema de climatización. Todo lo recabado permitió identificar y evaluar siete propuestas de mejora para el edificio, contemplando alcanzar el confort térmico y calidad de aire interior a través de realizar un uso sustentable de la energía.

Palabras Claves: Eficiencia, Climatización, Hospitales.

Área Temática: Generación Distribuida.

Categoría del Trabajo: Trabajo de docentes y/o investigadores

1. INTRODUCCIÓN.

En el proceso de transición energética, el uso racional y eficiente de la energía se concibe como instrumento imprescindible para la consecución de los objetivos de desarrollo sustentable. En este sentido se considera a la eficiencia energética como el “primer combustible” en la transición hacia energías limpias debido a que se presenta como una opción rápida y económicamente efectiva para la disminución de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) y, simultáneamente, para la reducción de los gastos en suministros energéticos y el incremento de la seguridad energética [1] ante la inestabilidad que se exhibe de forma reiterada en relación a la disponibilidad y al precio de los combustibles fósiles. La aplicación conjunta de eficiencia energética y fuentes sustentables de energía representa una estrategia que merece ser afrontada en los diversos sectores de consumo y a diferente escala, en virtud de sus múltiples beneficios, como la disminución de agentes contaminantes, los ahorros económicos, la equidad en el acceso a la energía, entre otros.

La energía requerida para la operación de los edificios representa actualmente el 30% del consumo energético mundial y el 26% de las emisiones de CO₂ relacionadas a la energía [2]. Por este motivo, son objeto de diversas políticas desde estándares energéticos a cumplir en su etapa de diseño y construcción hasta diagnósticos o revisiones energéticas e implementación de sistemas de gestión de la energía según norma ISO 50001. Referido a esto se debe tener en cuenta que no siempre un mayor consumo energético equivale a un mayor confort o a un mejor servicio, y viceversa. La finalidad debe ser siempre lograr un grado de eficiencia óptimo en el cual el confort de los distintos ambientes y el consumo de energía estén en la proporción adecuada.

Dentro de las diferentes categorías de edificios en función de sus actividades, se encuentran los hospitales que presentan una elevada dependencia del uso de recursos energéticos, integrando el grupo de edificios con mayor consumo por unidad de superficie construida (732,69 kWh/m²) [3]. Las edificaciones hospitalarias se diferencian de otros establecimientos en su característica de estar operativos las 24 horas del día durante todo el año, la obligación de contar con sistemas de apoyo en caso de interrupción de energía de la red de distribución, el filtrado y acondicionamiento de elevadas cantidades de aire exterior para diluir microorganismos, el suministro de electricidad que necesitan para equipamiento de diagnóstico, monitoreo y tratamiento, además de lo requerido para servicios generales auxiliares como cocción y lavandería [4]. Adicionalmente, se incluye la demanda de energía para mantener el confort térmico todo el año (calefacción y refrigeración), para la producción de agua caliente sanitaria y para la disponibilidad de sistemas de transporte vertical, entre otros [5].

Como grandes consumidores de energía, los hospitales presentan un rol fundamental en el camino de mitigación del cambio climático. A su vez, la importancia social de estas instituciones que prestan servicios sanitarios quedó reivindicada a causa de la pandemia producida por el COVID-19, resultando manifiesta la necesidad de poner en valor la infraestructura de dichas instituciones con una mirada ambientalmente sustentable.

En los hospitales el consumo energético más relevante se concentra en los sistemas de climatización y ventilación, los que representan entre el 40% y 65% del consumo total [6,7], debido principalmente a las condiciones ambientales específicas requeridas dentro de estas instituciones. El control del aire de ventilación es más estricto que en otros edificios como así también los rangos permitidos para los niveles de temperatura y humedad relativa, con el objetivo de controlar la propagación de enfermedades.

Los edificios hospitalarios cuentan con una gran cantidad de servicios, áreas diferentes y una variada diversidad de las actividades que realizan los ocupantes del establecimiento y, por lo tanto, se requiere adoptar diferentes acciones para alcanzar su confort térmico. Tal es así que se conjugan dos situaciones diferentes como el confort del paciente, que debe permanecer en reposo casi absoluto, y el confort del trabajador, que realiza tareas que requieren una actividad física mayor.

El objetivo del presente trabajo es abordar el uso racional y eficiente de la energía en el sistema de climatización de edificios hospitalarios como estrategia de sustentabilidad y considerando el cumplimiento de los requerimientos de confort térmico y calidad de aire interior. La metodología que se propone para realizar este abordaje abarca desde la determinación del estado actual de los sistemas de climatización de las áreas del hospital y de las condiciones interiores en cuanto a su temperatura, humedad relativa y ventilación, hasta la presentación a las personas a cargo del edificio hospitalario, de propuestas para mejorar estas condiciones actuales haciendo un uso racional de la energía.

Las actividades que derivan en este trabajo se realizaron en el marco de un proyecto de extensión aprobado con financiamiento en la convocatoria “Universidad, Cultura y Territorio” de la Secretaría de Políticas Universitarias del Ministerio de Educación de la Nación y del proyecto de investigación “Mejoramiento del uso de los recursos energéticos en los edificios del sector salud orientado a sentar las bases para su etiquetado energético” aprobado por la UNLP. Con la ejecución de estos proyecto, además de permitir definir y aplicar la metodología aquí presentada, se les suministró a las autoridades del hospital una evaluación técnica para ser utilizada en decisiones futuras relativas a la infraestructura del edificio, con base en criterios de sustentabilidad y confort térmico. Se aclara que el proyecto también incluye otros tópicos que han quedado fuera del alcance del presente

trabajo, para focalizar sobre el sistema de climatización. La ejecución del proyecto de investigación la realizan en forma conjunta la UIDET IAME (Ingeniería Aplicada en Mecánica y Electromecánica) y el IIPAC (Instituto de Investigación y Políticas del Ambiente Construido), de las facultades de Ingeniería y de Arquitectura y Urbanismo de la UNLP, respectivamente.

A continuación, se presenta la metodología propuesta, incluyendo el marco teórico, los resultados obtenidos de la aplicación de la metodología al caso de estudio, para finalizar luego con su discusión y conclusiones.

2. METODOLOGÍA.

En términos energéticos, el análisis del comportamiento de un edificio puede realizarse con diferentes niveles de profundidad e incluyendo dentro de los límites de análisis a distintas instalaciones o sistemas, dependiendo del objetivo perseguido. Para ello, se realizan auditorías o diagnósticos energéticos que se definen como procesos cuya finalidad es la recomendación de oportunidades para mejorar la eficiencia energética de un establecimiento. Sus objetivos son identificar y evaluar medidas que permitirán reducir el consumo de energía y el costo operativo del edificio y/o mejorar la calidad del ambiente interior para sus ocupantes. En tanto que sus resultados deben ser presentados de manera tal de otorgar la información necesaria a las personas tomadoras de decisiones para que definan adoptar o no las medidas recomendadas [8]. Los elementos principales de un proceso de diagnóstico energético en edificios terciarios se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1 *Elementos claves en el proceso de diagnóstico energético. [8]*

<i>Formar un equipo para realizar el diagnóstico</i>	Agrupar a participantes para que el diagnóstico energético sea exitoso, incluyendo a personal del edificio en análisis, y establecer claramente las responsabilidades de cada integrante.
<i>Análisis energético preliminar PEA</i>	Analizar las facturas de consumo y costo de suministros energéticos de dos o más años.
<i>Procedimientos para visitas</i>	Realizar actividades de preparación para realizar el relevamiento energético del edificio.
<i>Mediciones</i>	Visita y relevamiento del edificio para recolectar información sobre parámetros operativos y desempeño energético.
<i>Análisis</i>	Descripción y análisis de sistemas que consumen energía (puede incluir simulación energética de todo el edificio).
<i>Tipos de medidas de eficiencia energética</i>	Clasificar y recomendar medidas de eficiencia energética, analizar la interacción entre las medidas.
<i>Evaluación económica</i>	Evaluar el costo de capital y el costo del ciclo de vida de medidas de eficiencia energética por separado y en conjunto, considerando interacciones.
<i>Desarrollo de informe del diagnóstico</i>	Proveer la información completa necesaria para que la persona dueña o a cargo del establecimiento decida si implementa las medidas recomendadas.
<i>Presentación de resultados</i>	Realizar una reunión con la persona dueña o a cargo del edificio para revisar en conjunto el informe, explicar los resultados y definir próximas acciones.
<i>Implementación de medidas</i>	Implementar las mejoras de eficiencia energética seleccionadas. Incluir procedimientos de medición y verificación continuos.

Dependiendo de las actividades de relevamiento, medición y evaluación incluidas en el diagnóstico energético, se identifican tres niveles: a) Nivel I - Análisis *Walk-Through*; b) Nivel II - Encuesta energética y análisis ingenieril; c) Nivel III - Análisis detallado de modificaciones intensivas en capital. Los tres niveles deben ser precedidos por un análisis energético preliminar (PEA, por sus siglas en inglés) basado en el estudio de los datos históricos de facturación de energía del edificio. Las actividades comprendidas en cada nivel se resumen en la Tabla 2.

Tabla 2 *Actividades requeridas en los niveles de diagnóstico energético. [8]*

	NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3
Análisis energético preliminar PEA	●	●	●
Visita <i>walk-through</i>	●	●	●
Identificación de mejoras de costo bajo o nulo	●	●	●
Identificación de mejoras con inversión	●	●	●
Revisión de condiciones de diseño, operación y mantenimiento de sistemas mecánicos y eléctricos		●	●
Medición de parámetros claves		●	●
Análisis de medidas con inversión		●	●
Reunión con personas a cargo para revisar las recomendaciones		●	●
Monitoreo o pruebas adicionales			●
Simulación de modelo energético detallado			●
Provisión de layout de recomendaciones			●

Ahora bien, en todo el proceso de diagnóstico energético de un edificio, independientemente del nivel realizado, deben tenerse en cuenta las condiciones ambientales interiores que definen el confort térmico y la calidad de aire interior a la que están expuestas las personas que realizan actividades dentro del edificio. La definición del estado actual de los parámetros que caracterizan a estas condiciones (principalmente, temperatura, humedad relativa, renovaciones y filtrado de aire) a través de la medición y su comparación con los valores establecidos en las normas técnicas y regulaciones nacionales correspondientes, debe ser contemplado previo a la evaluación de mejoras de eficiencia energética para que estas puedan, en caso necesario, abordar las falencias detectadas. En definitiva, la reducción del consumo de energía mediante su uso racional y eficiente en edificios hospitalarios debe concebirse en conjunto con las condiciones de confort y calidad del aire interior con el fin de asegurar que el servicio prestado en el edificio se ajuste a la normativa aplicable.

Centrando en los hospitales, los requisitos mínimos que proporcionan el control del confort ambiental, la asepsia y los olores se establecen en la norma técnica internacional *Estándar ASHRAE/ANSI/ASHE 170-2013 Ventilación de instalaciones de atención médica* (ASHRAE 170-2013), reconocida y tomada como base en diversas normativas nacionales. Allí se establece que los sistemas de manipulación y distribución del aire son necesarios para que las instalaciones de atención médica gocen no sólo de un ambiente agradable sino también de la ventilación para diluir y eliminar contaminantes, para proporcionar aire acondicionado y para asistir en el control de infecciones de transmisión aérea [9].

Teniendo como base lo mencionado, se propone la siguiente metodología que consiste en nueve etapas para abordar la mejora en el uso racional y eficiente de la energía en el sistema de climatización y el cumplimiento de requisitos de calidad de aire interior en edificios hospitalarios (Tabla 3). Esta metodología puede ser clasificada como un diagnóstico energético Nivel II, según lo mostrado en la Tabla 2, enfocado en la climatización del edificio.

Tabla 3 Metodología propuesta para análisis de sistema de climatización y ventilación de un edificio hospitalario. [Elaboración propia]

ETAPA	
1	Análisis energético preliminar
2	Definición de requerimientos normativos
3	Visita de reconocimiento del edificio
4	Relevamiento energético del edificio
5	Mediciones de parámetros principales
6	Análisis de los resultados de relevamiento y las mediciones
7	Verificación de cumplimiento de requerimientos normativos
8	Identificación y evaluación de medidas de eficiencia energética
9	Informe y presentación de resultados a autoridades del edificio

La primera etapa de la metodología consiste en realizar un PEA en el edificio, en el que se incluya el análisis de documentación de la edificación que aporte información relevante en términos energéticos. Esto abarca a la facturación de los suministros de energía (electricidad, gas natural, gas licuado de petróleo, etc.) que se utilizan para el funcionamiento del edificio, sus planos arquitectónicos y los planos de sus instalaciones termo-mecánicas y su instalación eléctrica. Con estos datos deben poder identificarse las diferentes áreas de atención en el hospital y los servicios médicos brindados, así como también los tipos de equipos e instalaciones que regulan los parámetros de confort térmico y calidad de aire interior.

Luego, en segundo término, para las áreas y los servicios identificados, se deben establecer los requisitos de climatización y ventilación según normativa aplicable. Estos requisitos incluyen rangos de temperatura y humedad relativa del ambiente interior, cambios mínimos de aire por hora (totales y de aire exterior), restricción de recirculación de aire por parte de los equipos de climatización y relación de presión con las áreas contiguas, todo esto según ASHRAE 170-2013. En aquellas áreas que no están dedicadas exclusivamente a servicios médicos, como zonas administrativas, pasillos y salas de espera, se identifican los requerimientos provistos en las normas IRAM 11604 y 11659 referidas a la calefacción y refrigeración de espacios, respectivamente [10, 11].

Seguidamente, y teniendo en cuenta los resultados del PEA, como tercera etapa se debe realizar una visita de reconocimiento al edificio hospitalario para examinar las instalaciones, visualizar las áreas identificadas en los planos y entrevistar brevemente a algunos miembros del personal médico, administrativo y técnico. Con los resultados de esta visita se debe contrastar la información general contenida en los planos, especialmente modificaciones mayores relativas a la construcción y a la distribución de áreas médicas, cambios relevantes en la tecnología de los sistemas de climatización y ventilación, modificaciones recientes no contenidas en los planos y que afecten al confort térmico.

También es útil reunir comentarios del personal técnico sobre acciones de mantenimiento realizadas sobre el sistema de climatización y ventilación y problemas recurrentes en la operación de sus equipos. Si a esto se incluye lo conversado con personal de otras áreas, se consigue tener una opinión muestral sobre cómo conciben los usuarios las condiciones ambientales interiores, qué preferencias presentan, etc. Esto debe tomarse como opinión de muestra para identificar problemáticas en la tecnología utilizada en el sistema de climatización y ventilación, como también en la demanda de este, de modo que las áreas en las que se repiten problemáticas sean abordadas con mayor profundidad en las etapas siguientes de la metodología.

Tanto la información del PEA, como los requerimientos normativos y lo hallado en la visita de reconocimiento, se analiza y se conjuga para la planificación de la cuarta y quinta etapa de la metodología que refiere al relevamiento energético del sistema de climatización y ventilación que funciona en la edificación y de las mediciones a realizar, respectivamente. En estas definiciones se incluye la determinación de los límites físicos dentro de los cuales se llevará a cabo el relevamiento, el equipo de personas que lo realizará y su distribución de tareas, la estrategia de recolección de información relativa a los equipos y otros elementos que afectan al consumo de energía de este sistema. En cuanto a las mediciones debe decidirse qué parámetros se medirán, mediante qué instrumentos y cuál será la magnitud de la campaña de medición, en términos de superficie cubierta y de tiempo de registro de mediciones. En este punto también se decide qué tipo de capacitaciones requieren las personas que integran el equipo de relevamiento, entre las que pueden encontrarse uso de tablas de relevamiento, caracterización de instalaciones de climatización y ventilación en hospitales y correcta utilización de instrumentos de medición.

Una vez definida la estrategia, se lleva a cabo el relevamiento energético y las mediciones en el edificio, a partir de lo planificado. Dentro del relevamiento se registran datos técnicos de los equipos, como marca, modelo, potencia, eficiencia y estado general, incluyendo si se encuentra en funcionamiento o no. También es relevante consignar la ubicación de cada equipo y el área o servicio al que abastece ya que permitirá luego contrastar con lo requerido por normativa técnica.

En cuanto a las mediciones que permiten caracterizar el estado actual de condiciones interiores de confort térmico y ventilación, se puede incluir la medición de temperatura, humedad relativa, concentración de dióxido de carbono, velocidad de aire en difusores y rejillas, horas de funcionamiento de equipos, caudal de agua, composición de gases de combustión en salida de calderas, entre otros. Además, debido al alto impacto que tienen las ganancias y pérdidas térmicas de los elementos constructivos en el consumo de energía de los equipos de climatización, es de utilidad medir su temperatura mediante termografía, para la detección de las zonas de mayor transferencia térmica y puentes térmicos.

Una característica particular de los edificios hospitalarios que se ha de tener en cuenta en la realización del relevamiento y de las mediciones, es que con frecuencia se hallan áreas restringidas en las que las personas relevadoras no podrán circular libremente para recabar los datos y realizar las mediciones. Esto debe ser advertido con anterioridad, durante la planificación, para seleccionar aquellas áreas críticas que necesariamente deben ser relevadas y medidas, y coordinar con personal y directivos del hospital los permisos necesarios para transitar estos sectores, recibir recomendaciones sobre elementos de protección a utilizar en esos lugares y definir horario en que puede ser visitada el área restringida. En algunos casos, el acceso de personal no médico está prohibido por lo que se les debe solicitar la documentación mediante fotografías de los equipos presentes en esas áreas o la colocación de instrumentos de medición que puedan registrar datos durante un período de tiempo y luego retirarse para que el equipo relevador analice los registros.

Finalizado el relevamiento y las mediciones, se procede a la sexta etapa de la metodología en la que se analiza la información recabada para establecer el estado actual del hospital en cuanto a su sistema de climatización y ventilación. Los resultados de este análisis deben utilizarse primeramente para verificar el cumplimiento de la normativa (séptima etapa) sobre la tecnología y las características de las instalaciones de esos sistemas y comparar los valores obtenidos de las mediciones con los establecidos según norma.

De esta manera, en la etapa siguiente de identificación y evaluación de medidas de eficiencia energética, se incluirán acciones que corrijan desviaciones de los requisitos normativos, para la mejora del confort térmico y la calidad del aire interior. Estas acciones, junto con otras medidas identificadas, deben ser evaluadas en relación a los beneficios energéticos, económicos y ambientales que generen.

Finalmente, la información surgida del diagnóstico energético, incluyendo determinación del estado actual y mejoras propuestas, se presentan a las personas a cargo del edificio hospitalario. En esta etapa es importante que el equipo responsable del diagnóstico sea capaz de comunicar de forma fehaciente los principales resultados y discuta con el personal hospitalario sobre la ejecución de planes de acción que involucren a todas o algunas propuestas de mejora.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

El caso de estudio donde se aplicó la metodología propuesta corresponde a un hospital escuela ubicado en la ciudad de La Plata, de 9900 m² de superficie cubierta distribuida en cinco niveles y

con una capacidad de 170 camas, cuyo nombre se preserva por razones de confidencialidad de la información tratada. Se comenzó con el análisis energético preliminar PEA en base a la facturación del suministro eléctrico y a planos generales y de instalaciones termo-mecánicas del hospital, en su última actualización.

El hospital se abastece de energía eléctrica y de gas natural de las redes de distribución, pero solamente se pudo tener acceso en este PEA a la facturación de energía eléctrica para los periodos mayo 2019-agosto 2020 y marzo 2021- septiembre 2021. Se observa la presencia de dos medidores de electricidad para el suministro de todo el hospital, con consumo mensual entre 93.495 kWh y 154.321 kWh contabilizando ambos medidores. Se aclara que se descartaron los valores de meses correspondientes al auge de la pandemia COVID-19 por considerar que no son representativos.

En tanto que en los planos se identificaron las áreas de servicios médicos y generales dentro del edificio y las características principales del sistema de climatización. Según lo indicado en los planos, el sistema de climatización del hospital es centralizado, con producción de agua fría de refrigeración mediante una enfriadora centrífuga y de agua caliente a través de calderas a gas natural. El intercambio de calor con el aire se realiza a través de radiadores o de unidades de tratamiento de aire, para su distribución mediante un sistema de ductos con rejillas y difusores en las distintas áreas. Los principales resultados del PEA se resumen en la Tabla 4.

Tabla 4 *Resultados del PEA en el hospital caso de estudio. [Elaboración propia]*

Consumo energía eléctrica mensual	Mínimo: 93.495 kWh
	Máximo: 154.321 kWh
Potencia eléctrica registrada máxima	Punta: 243 kW
	Fuera de Punta: 367 kW
Energía reactiva	tan ϕ máximo: 0.507
Consumo gas natural mensual	Sin información.
Áreas dentro del hospital	<i>Servicios Médicos:</i> - Consultorios externos. - Diagnóstico por imágenes. - Internación (cuidados intermedios e intensivos) - Cirugía - Neonatología - Salas de parto - Salas de parto quirúrgico - Emergencias - Farmacia - Esterilización - Morgue
	<i>Servicios Generales:</i> - Cocina - Mantenimiento - Administración - Aulas y salas de conferencia
Sistema de climatización y ventilación según planos	Centralizado agua-aire, con enfriadora de agua (electricidad) y calderas (gas natural).
	Unidades de tratamiento de aire y radiadores.
	Ventilación: sistema de extracción mecánico. <i>Áreas abastecidas:</i> Emergencias, Internación, Cirugía, Neonatología, Salas de parto, Salas de parto quirúrgico.

Seguidamente, se procedió a extraer de ASHRAE 170-2013 y bibliografía afín, los requerimientos del sistema de climatización y ventilación para las áreas médicas presentes en el hospital en estudio. Se realizó un proceso similar para aquellas áreas del edificio que no están dedicadas exclusivamente a servicios médicos, para las cuales se identifican los requerimientos provistos en las normas IRAM 11604 y 11659 (estos requerimientos normativos se visualizan luego en la Tabla 6, junto con los resultados del relevamiento y las mediciones).

Después del PEA, se llevó a cabo la visita de reconocimiento del hospital. En esta se recorrieron los distintos espacios del edificio, se reconocieron las áreas identificadas en los planos y se tomó conocimiento de que el sistema centralizado de climatización y ventilación presentado en los planos no se encontraba operativo, por lo que la demanda había pasado a ser abastecida por equipos distribuidos en todo el hospital. En particular, la instalación correspondiente a la calefacción había sido seccionada en partes menores y las calderas de mayor potencia habían sido reemplazadas por calderas de menor escala instaladas en cada uno de los pisos del hospital. En tanto que en otras áreas se instalaron equipos eléctricos individuales de climatización que abastecen la demanda de refrigeración y/o calefacción.

Este conocimiento llevó a cambiar la estrategia de relevamiento del sistema de climatización ya que se debía abordar mayor cantidad de equipamiento distribuido en diversas zonas del hospital en lugar de equipos centrales. Con esta información, se planificó el relevamiento y las mediciones a realizar para establecer el estado actual del sistema de climatización y de las condiciones de confort y calidad de aire interior del hospital.

En relación a lo obtenido en el relevamiento, se registraron equipos eléctricos de variada capacidad nominal de refrigeración/climatización y de distinta tecnología, hallándose equipos tipo split, de ventana y rooftop. En la Tabla 5 se resumen los principales resultados hallados en el relevamiento, incluyendo cantidad de equipos y su potencia eléctrica para los diferentes niveles del hospital.

Tabla 5 Cantidad y potencia total de equipos de climatización relevados. [Elaboración propia]

	Cantidad de equipos	Potencia eléctrica [kW] (modo Refrigeración)	Potencia eléctrica [kW] (modo Calefacción)
Subsuelo	16	16,91	17,45
Planta Baja	22	39,83	36,22
Primer Piso	12	17,22	17,02
Segundo Piso	6	13,28	12,07
Tercer Piso	9	15,93	14,49
Cuarto Piso	4	4,75	3,75

En cuanto a las mediciones, se hallaron restricciones sanitarias para poder realizarlas en áreas críticas del hospital por lo que se procedió a medir temperatura y humedad relativa de forma muestral en oficinas, habitaciones de cuidados no críticos y consultorios médicos.

Del análisis del relevamiento y de las mediciones, es posible definir el estado actual del sistema de climatización del hospital en estudio. En la Tabla 6 se muestran los requerimientos de ASHRAE 170-2013 para las áreas de servicios médicos del caso de estudio, y con los colores verde, rojo y gris se muestra si este hospital cumple, no cumple o no tiene requerimiento, respectivamente. Solamente en las áreas de Emergencias y Radiografía se cuenta con un sistema de climatización y ventilación que es acorde a lo exigido por la normativa. En tanto que otras áreas de servicios médicos críticos, como quirófanos, salas de parto y cuidados intensivos, requieren de modificaciones en su sistema de climatización para cumplir con los requisitos normativos. Se aclara que en estas áreas de servicios médicos no se midieron la temperatura y humedad relativa, por lo que en la Tabla 6 no se visualiza su estado de cumplimiento/incumplimiento.

Tabla 6 Requisitos de climatización y ventilación en áreas de servicios médicos y su estado de cumplimiento en el caso de estudio. [9, Elaboración propia]

Local	Relación de presión con áreas contiguas	Cambios de aire exterior por hora	Cambios de aire mínimos totales por hora	Aire recirculado	Humedad relativa de diseño [%]	Temperatura de diseño [°C]
Quirófano	Positiva	4	20	No	20-60	20-24
Salas de parto por cesárea	Positiva	4	20	No	20-60	20-24
Shock Room (Emergencias)	Positiva	4	20	No	20-60	20-24
Sala de parto	NR	2	6	NR	60 máx	21-24
Cuidados intensivos	NR	2	6	No	20-60	21-24
Neonatología	NR	2	6	No	30-60	22-26
Esterilización	Negativa	NR	10	No	NR	NR
Depósito de farmacia	Positiva	2	7	NR	NR	NR
Radiología (cuarto oscuro)	Negativa	2	12	No	NR	NR

NR: Sin requerimiento en la normativa
Rojo: No cumple ; Verde: Cumple ; Gris: Sin requerimiento

Referido a las mediciones, se realizaron en época estival por lo que sus resultados se compararon con los requisitos establecidos en la norma IRAM 11659, que define los niveles de confort A, B y C referidos a nivel recomendado, medio y mínimo, respectivamente. En la Figura 1 se presentan a modo de ejemplo alguno de los resultados de las mediciones de temperatura realizadas en oficinas,

habitaciones y aulas, junto con los requisitos de la norma IRAM 11659 (valores de temperatura de confort interior para locaciones con temperatura exterior de diseño mayor a 35°C). De forma similar se procedió con las mediciones de humedad relativa. En total se realizaron mediciones en 27 locales y se obtuvo que solamente en 4 de esos lugares se cumple con el nivel mínimo de temperatura requerido y que ninguno se encuentra dentro de los valores recomendados para la humedad relativa. Además, se evidenció que, en algunas habitaciones y oficinas, la temperatura superaba en más de 4°C el nivel de confort recomendado por IRAM 11659 para época estival.

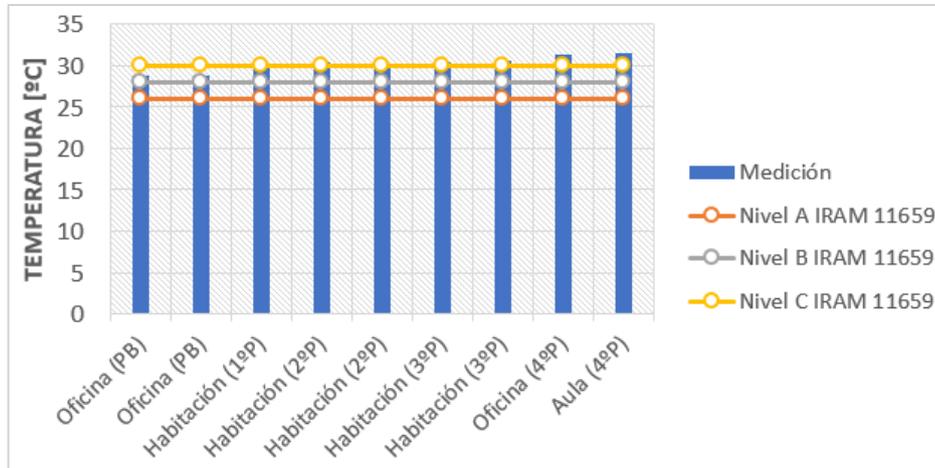


Figura 1 Resultados de muestras de mediciones de temperatura. [Elaboración propia]

La determinación del estado actual del sistema de climatización y condiciones de confort térmico, para luego proceder a la identificación y la evaluación de mejoras que tiendan al uso racional y eficiente de la energía en el hospital examinado, se completó con la realización de mediciones mediante termografía en puntos estratégicos del edificio (las termografías permiten identificar los valores de temperatura sobre las superficies de cada elemento constructivo de la envolvente edilicia). Su finalidad es definir lugares y causas de las mayores pérdidas/ganancias térmicas y, por lo tanto, las que afectan al confort térmico y al consumo energético de los equipos de climatización. La medición se realizó un día de noviembre a las 15 hs, se tomaron termografías sobre la superficie expuesta con una cámara Testo 865 y se registraron valores de temperatura y humedad relativa ambientales con un adquisidor de datos Hobo ONSET MX2301A. Se analizaron situaciones interiores y exteriores de: un estar médico, salas de espera, habitaciones de internación general y consultorios (generales y uno pediátrico). En la Figura 2 se muestra, a modo de ejemplo, el registro de las mediciones realizadas en el exterior de habitaciones de internación. De los resultados de estas mediciones, se obtuvo que la estructura independiente y la carpintería se comportan como puentes térmicos ya que las composiciones de estos elementos constructivos ofrecen valores elevados de transmitancia térmica (K): carpinterías de chapa con vidrio simple (K: 5,87 W/m²°C) y la estructura independiente de hormigón armado (K: 3,26 W/m²°C). En contraposición, el muro está conformado por ladrillos huecos cerámico no portantes 18x18x33 cm revocado en ambas caras (K: 1,61 W/m²°C).

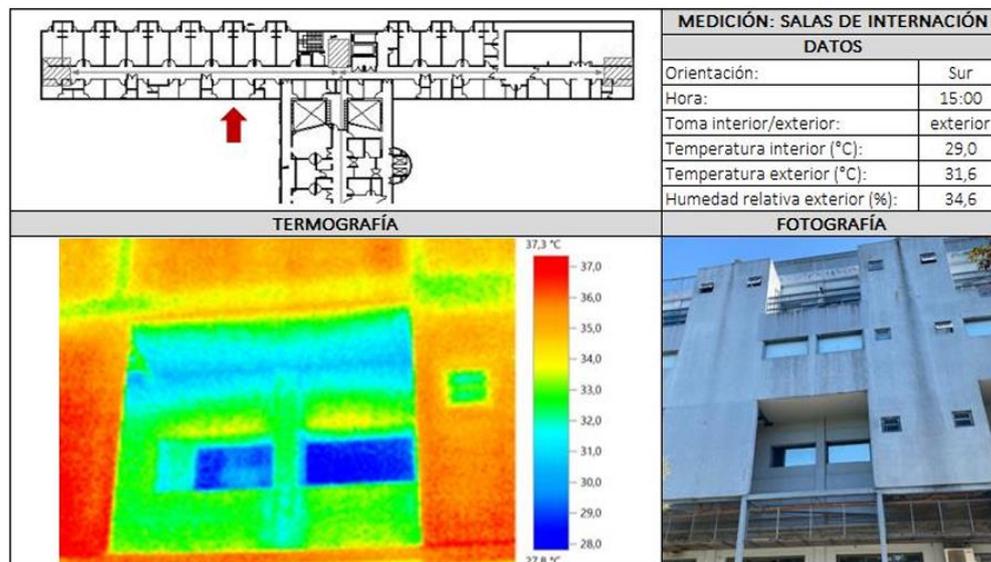


Figura 2 Registro de información de análisis termográfico. [Elaboración propia]

Finalizada la etapa de establecimiento del estado actual, se procedió a definir y evaluar acciones para mejorar el uso de la energía en el hospital, contemplando como requisito obligatorio el cumplimiento de los requerimientos de temperatura, humedad relativa y ventilación dentro de los locales del edificio, según sea el servicio que se desarrolle allí.

Para el caso de estudio, las mejoras propuestas y algunos resultados de su evaluación son:

- I) Reemplazar o incorporar equipos con los que pueda regularse los parámetros de temperatura y humedad relativa en el interior de los locales y las renovaciones de aire. Tomar en consideración la utilización de sistemas de volumen de refrigerante variable (VRV), con los que pueden lograrse ahorros energéticos cercanos al 30%, respecto a los equipos actualmente instalados.
- II) Regular la temperatura de seteo de los equipos existentes de climatización para que cumplir con requisitos de temperatura interior de cada sector.
- III) En los procesos de decisión de compra de equipos de climatización, incluir el criterio de eficiencia energética. Por ejemplo, para una demanda de refrigeración de 3 kW, la selección de equipos split tecnología inverter por sobre equipos de ventada repercute, como mínimo, en un consumo eléctrico 11% menor.
- IV) En las áreas donde la normativa lo permita, implementar protocolos de ventilación natural.
- V) Desarrollar y ejecutar un plan de mantenimiento que tenga en cuenta la limpieza de los filtros de los equipos de climatización instalados.
- VI) Colocar cartelería referida a los beneficios medioambientales, energéticos y económicos que conlleva el uso racional y eficiente de la energía, con el fin de concientizar al personal y demás personas usuarias del edificio.
- VII) Cuando se realicen tareas de remodelación de la envolvente, implementar aislación térmica y materiales de las aberturas de forma tal que permitan disminuir el flujo de calor entre el interior y el exterior. Utilizar la información de las imágenes termográficas para definir priorizar las zonas con mayores pérdidas/ganancias térmicas.

Se destaca que en las acciones anteriormente propuestas siempre se conjuga realizar un uso racional de la energía con lograr condiciones de temperatura, humedad relativa y ventilación acorde a las actividades que se realizan en las áreas de servicios médicos y generales.

Los resultados, con el análisis en detalle de cada una de las etapas de la metodología aplicada, se presentaron a las autoridades del hospital. Con este proceso se espera que las personas a cargo del edificio incorporen paulatinamente las acciones propuestas con el doble objetivo de incrementar la sustentabilidad de sus servicios y mejorar las condiciones de confort térmico y calidad del aire interior para todas las personas involucradas en las actividades dentro del hospital.

4. CONCLUSIONES.

El uso racional y eficiente de la energía como estrategia de sustentabilidad debe abordarse en los edificios junto con las acciones para asegurar las condiciones de confort térmico y calidad de aire interior. La metodología propuesta en el presente trabajo para realizar este abordaje en los sistemas de climatización de edificios hospitalarios abarca nueve etapas entre las que se incluyen un análisis energético preliminar en base a datos de facturación de suministros eléctricos y planos, relevamiento energético en el edificio, mediciones de temperatura interior y humedad relativa, termografía, verificación de requisitos normativos y finalmente presentación de mejoras evaluadas al personal a cargo del hospital.

De la aplicación de la metodología al caso de estudio se evidencia el apartamiento de la situación actual del edificio respecto de los requerimientos normativos de climatización y ventilación. En áreas de servicios médicos críticos las condiciones de renovaciones de aire no son acordes a lo requerido, en tanto que en las mediciones de temperatura y humedad relativa en habitaciones, oficinas y consultorios se observan en su mayoría resultados por fuera de los niveles mínimos de confort térmico recomendado. Por lo tanto, se recomiendan que las primeras acciones a realizar tiendan a elevar el confort de las personas usuarias del hospital, contemplando en la selección de la tecnología necesaria criterios de eficiencia energética.

Como trabajo futuro, se pretende profundizar en el análisis de requerimientos y la propuesta de soluciones sustentables a implementar en un área crítica en términos de calidad de aire interior como es el sector de quirófanos.

5. REFERENCIAS.

- [1] Agencia Internacional de la Energía – *Eficiencia Energética* <https://www.iea.org/energy-system/energy-efficiency-and-demand/energy-efficiency> (Fecha de visita: 06/05/2024)
- [2] Agencia Internacional de la Energía – *Edificios* <https://www.iea.org/energy-system/buildings> (Fecha de visita: 06/05/2024)
- [3] Fondoso Ossola, S., Urteneche, E. *El desarrollo de escenarios energéticos en el subsector salud*. Anuario 2023 Asociación Argentina de Arquitectura e Ingeniería Hospitalaria AADAIH. 2023.
- [4] ASHRAE, *Handbook – HVAC Applications*. Edición 2019. Atlanta: Edit. ASHRAE, 2019.

- [5] European Bank for Reconstruction and Development. *Energy and Resource Efficiency in Hospitals and Healthcare Facilities*. 2021.
- [6] Bawaneh, K., Ghazi Nezami, F., Rasheduzzaman, M., y Deken, B. *Energy Consumption Analysis and Characterization of Healthcare Facilities in the United States*. *Energies*, vol. 12. Octubre 2019.
- [7] Sheppy, M., Pless, S., y Kung, F. *Healthcare Energy End-Use Monitoring*. NREL. 2014.
- [8] ASHRAE, *Procedures for commercial building energy audits*. 2da Edición. Atlanta: Edit. ASHRAE, 2011.
- [9] ANSI/ASHRAE/ASHE, *Estándar 170-2013 Ventilación de instalaciones de atención médica*. Edición 2013. Atlanta: Edit. ASHRAE, 2013.
- [10] IRAM, *Norma 11604 Aislamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Ahorro de energía en calefacción*. 2da Edición, 2001.
- [11] IRAM, *Norma 11659 Aislamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Ahorro de energía en refrigeración*. 1era Edición, 2004.

6. AGRADECIMIENTOS.

Este trabajo pudo realizarse con el aporte de financiamiento de la Secretaría de Políticas Universitarias del Ministerio de Educación de la Nación, en su convocatoria "Universidad, Cultura y Territorio" del año 2021. Se agradece a personal directivo y técnico del hospital caso de estudio, y a los docentes y estudiantes participantes del proyecto.