



industriales
etsii UPCT

TECNOLOGÍAS IoT PARA AHORRO ENERGÉTICO EN EDIFICIOS

Titulación: Grado en Tecnologías Industriales

Alumno/a: Joaquín Fernández Lagares

Director/a/s: Antonio Guerrero González y Alfonso Ramallo González



AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecer a las personas que me han ayudado y han hecho posible este Trabajo de Fin de Grado.

En concreto a mis tutores académicos, Alfonso Ramallo, Miguel Zamora y Antonio Guerrero, por su dedicación, compromiso, esfuerzo y confianza depositada en mí. Permitiéndome formar parte del proyecto ENTROPY.

Realizar una mención especial a mis padres y a mi hermano por todo el apoyo que me han brindado y por enseñarme cada día a ser mejor persona. Darles las gracias por todos los sacrificios que hacen por mí.

Acordarme de mis compañeros y amigos con los que he compartido horas de risas, nervios y alegrías. Consiguiendo que este período haya sido una experiencia única.

Muchas gracias a todos.



RESUMEN

El presente Trabajo de Fin de Grado realizó un análisis de eficiencia energética de cuatro laboratorios del edificio Pleiades. Para ello, se empleó un modelado de la zona con la inclusión de parámetros medidos mediante tecnologías IoT a fin de simular este espacio con rigor mediante Energy Plus. Los resultados reportaron una predicción para un año de funcionamiento. El estudio reflejó que el edificio había estado funcionando con la idea operativa inicial, asimismo podría conseguirse un mayor grado de eficiencia regulando la infiltración del mismo. Por añadidura, se logró un modelado totalmente válido para futuras aplicaciones.

Palabras clave: eficiencia energética, tecnologías IoT, modelo, Energy Plus.

ABSTRACT

The present Final Degree Project carried out an energy efficiency analysis of four laboratories of the Pléyades building. For this, a modeling of the area was used, with the inclusion of measured parameters through IoT technologies and to simulate this space with accuracy using Energy Plus. The results reported a prediction for one year of operation. The study showed that the building had a functioning state with the initial operational idea, and that it could achieve a greater degree of efficiency by regulating its infiltration. In addition, a completely valid modeling was achieved for future applications.

Keywords: energy efficiency, IoT technologies, model, Energy Plus.



ÍNDICE

1. INFORMACIÓN PREVIA	1
1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.2 EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA.....	1
1.3 EFICIENCIA ENERGÉTICA EN ESPAÑA Y EUROPA	3
1.4 IMPORTANCIA DE LAS TECNOLOGÍAS IoT	4
1.5 ESTADO DEL ARTE	5
1.6 INTRODUCCIÓN	7
1.7 NORMATIVA APLICADA.....	9
1.8 METODOLOGÍA SEGUIDA	10
1.9 OBJETIVOS DEL PROYECTO	10
2. EMPLAZAMIENTO DEL EDIFICIO	11
3. MODELADO GEOMÉTRICO	14
4. INCLUSIÓN DE PARÁMETROS EN EL MODELO	19
4.1 LOCALIZACIÓN.....	19
4.2 PERIODOS LABORABLES Y FESTIVOS.....	19
4.3 HORARIOS DE JORNADA	19
4.4 MATERIALES.....	21
4.5 COMPOSICIÓN DE MUROS.....	23
4.6 EQUIPOS.....	24
4.7 PERSONAS EN LAS SALAS.....	28
5. OBTENCIÓN DE DATOS DEL MODELO IDEAL DE CLIMATIZACIÓN.....	29
6. CLASIFICACIÓN DE DATOS REALES	31
7. OBTENCIÓN DE DATOS DEL MODELO REAL Y COMPARACIÓN CON DATOS REALES	41
8. VALORES PROPORCIONADOS POR EL MODELO REAL	46
8.1 CONSUMO, DEMANDA Y ELECTRICIDAD POR m ²	47
8.2 DATOS DE LOS VENTILADORES.....	48
8.3 CONFORTABILIDAD	48
8.4 TIEMPO QUE NO SE HA CUMPLIDO LA CONSIGNA	49
8.5 NÚMERO DE OCUPANTES, INFILTRACIÓN Y RENOVACIÓN DE AIRE	50
8.6 ELECTRICIDAD POR ZONA.....	51



8.7 ENERGÍA POR ZONA	52
8.8 PÉRDIDA DE ENERGÍA POR ZONA.....	53
8.9 POTENCIA CALORÍFICA FRENTE AL INCREMENTO DE T ^a	54
8.10 RESUMEN DE LOS DATOS	56
9. PREDICCIÓN PARA UN AÑO DE FUNCIONAMIENTO.....	57
9.1 PREDICCIÓN DE CONSUMO ANUAL, DEMANDA Y ELECTRICIDAD POR m ²	59
9.2 DATOS DE LOS VENTILADORES PARA UN AÑO	60
9.3 ANÁLISIS DE CONFORTABILIDAD EN LA PREDICCIÓN.....	61
9.4 TIEMPO QUE SE TARDA EN ESTABLECER EL RANGO DE TEMPERATURAS	62
9.5 OCUPANTES, INFILTRACIÓN Y RENOVACIÓN DE AIRE ANUAL	63
9.6 PREDICCIÓN DE ELECTRICIDAD POR ZONA	63
9.7 PREDICCIÓN DE ENERGÍA POR ZONA	65
9.8 PÉRDIDA DE ENERGÍA POR ZONA EN LA PREDICCIÓN	66
9.9 RESUMEN DE LOS DATOS PARA UN AÑO ENTERO.	67
10. POSIBLES PROPUESTAS DE MEJORA.....	68
10.1 ELIMINAR EL CONTROL POR CONSIGNA E INTRODUCIR UN TERMOSTATO	69
10.2 REDUCIR O AUMENTAR EL TAMAÑO DE LAS VENTANAS	71
10.3 DISMINUIR LA INFILTRACIÓN	73
10.4 AUMENTAR O DISMINUIR LA CAPA DE AISLAMIENTO	74
10.5 MODIFICAR LA POTENCIA DE VENTILADORES	75
10.6 CAMBIO A UN HORARIO NOCTURNO.....	76
10.7 CAMBIAR LA ORIENTACIÓN DE LAS SALAS.....	76
11. CONCLUSION	79
12. TRABAJOS FUTUROS.....	80
13. REFERENCIAS.....	81
14. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA	83



1. INFORMACIÓN PREVIA

1.1 ANTECEDENTES

De la necesidad de buscar un mejor rendimiento del edificio Pleiades y una mayor sensación de confort que mejore el bienestar de los trabajadores de un edificio nuevo, surge la idea de realizar un exhaustivo estudio técnico y económico para mejorar estas condiciones.

Aprovechando el uso de las últimas tecnologías en este tipo de análisis se tratará de realizar un máximo aprovechamiento de las instalaciones que se encuentran disponibles y así discutir sobre el empleo de las mismas.

Para alcanzar dicho propósito se decidió realizar el proyecto de forma empírica, contando con datos reales y con la colaboración del personal de esta zona añadido a un software de modelización termodinámica. Lo cual nos lleva a un completo análisis energético de los laboratorios a través de un estudio de eficiencia energética de forma exhaustiva.

Si bien, la eficiencia energética se puede considerar como el arte de usar la menor cantidad posible de energía para conseguir la satisfacción de nuestras necesidades. Se puede conseguir eficiencia mediante tecnología más avanzada o simplemente con sentido común. Por lo que con este trabajo se persigue mejorar de forma significativa la eficiencia de las salas con modificaciones que no implican un cambio drástico en la zona ni una modificación de las instalaciones.

1.2 EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

Desde el descubrimiento de las primeras formas de energía, el ser humano ha tratado de satisfacer sus necesidades de forma más eficiente buscando nuevos recursos. Surgen diferentes tipos de energía: limitados a su disponibilidad, como el fuego, y otras presentes de forma natural como el sol, la hidráulica y la eólica. Clasificadas desde un principio como renovables y no renovables. Dependiendo de la finalidad, en la antigüedad se usaban de forma distinta. Se inventaron artefactos capaces de hacer un uso útil de la radiación solar y fueron capaces de prender las antorchas de los rituales religiosos por medio de unos recipientes en forma parabólica con el interior reflejante. La hidráulica usaba a la hora de realizar la molienda de cereales a través de norias y la eólica impulsaba a los barcos a través del uso de velas. [1]

Posteriormente aparece el carbón, el petróleo y el gas Natural, como energías fósiles, económicas y con un alto poder energético, que inicialmente parecieron como inagotables favoreciendo un crecimiento rápido de nuestra civilización y el olvido del uso de las energías renovables. En la actualidad las tres cuartas partes de la energía consumida en el mundo son de origen fósil [2], con un claro predominio del petróleo (32,9%), lanzando a la atmósfera millones de Tm anuales de dióxido de carbono. Son estas emisiones de CO₂ junto con otros gases, como metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbono (PFC), y hexafluoruro de azufre (SF₆), lo se conoce como efecto invernadero. [3] Por otro lado,



también emiten óxidos de azufre y otros aerosoles que ayudan a enfriar el planeta, filtrando la radiación recibida del Sol. De estos se produce un balance llamado balance radioactivo, que consiste en el equilibrio térmico entre la radiación que entra por la atmósfera y la que sale. El aumento de la población mundial y en consecuencia del consumo de energía para satisfacer las necesidades humanas por parte de los países desarrollados, han dado lugar a la sobreexplotación de los recursos naturales, a la deforestación masiva y en consecuencia, a las altas emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera. [4]

Todos estos factores han generado una creciente preocupación a nivel mundial por el cambio climático y por el agotamiento de los recursos naturales, y por ello se están creando planes de choque para reducir las emisiones de estos gases de efecto invernadero, así como apostar cada vez más por las energías renovables. No obstante, aún tenemos una gran dependencia de las energías fósiles tanto a nivel doméstico, industrial y de transporte. Por lo que muchos países toman la iniciativa de establecer normas y leyes (Cumbre de la Tierra, Protocolo de Kyoto, Cumbre de Johannesburgo, Conferencias de la ONU...) que ayuden a preservar el equilibrio de este sistema. [5] El fomento de la eficiencia energética constituye una parte muy importante del conjunto de políticas necesarias para cumplir lo establecido y debe estar presente en las medidas que adopten los diferentes países para dar cumplimiento a los compromisos adquiridos. Tanto la tecnología disponible, como los hábitos responsables, hacen posible un menor consumo de energía, mejorando la competitividad de las empresas o de las familias y también la calidad de vida personal. La gestión de la demanda de energía es, hoy en día, un instrumento importante que permite a la Unión Europea ejercer una influencia en el mercado mundial de la energía y en la seguridad de su abastecimiento a medio plazo.

Por tanto se llega a decisión de volver a energías que no resultan perjudiciales para el medioambiente sin renunciar a las necesidades que los combustibles fósiles han creado en una sociedad avanzada. Este nuevo tipo de energías, por lo general renovables se pueden aprovechar de distintas formas:

- Energía hidráulica y mareomotriz: Se obtiene a partir del movimiento de turbinas que aprovechan la fuerza del agua para generar energía eléctrica.
- Energía solar: Es la que nos llega en forma de radiación electromagnética procedente del Sol. Existen dos formas de aprovechar esta energía. Solar térmica: Transforma la energía del Sol en energía calorífica, mediante unos colectores planos que transmiten calor a un fluido. Solar Fotovoltaica: transforma la energía del Sol en energía eléctrica, mediante unas células fotovoltaicas.
- Energía eólica: Es la energía producida por el viento, mediante aerogeneradores se transforma la energía cinética del viento en energía eléctrica.
- Energía de biomasa: Se obtiene mediante la combustión de restos orgánicos, aunque genera emisiones, no supone un agotamiento de combustibles fósiles.
- Energía geotérmica: Aprovechamiento de energía almacenada en forma de calor bajo la superficie terrestre.
- Energía nuclear: No es una energía renovable, pero se considera casi inagotable por la gran disponibilidad que supone. Permite conseguir grandes cantidades de energía sin generar emisiones, aunque entraña riesgos y produce residuos.



El aprovechamiento de este tipo de energías constituye el concepto de eficiencia energética, es decir, no solo es importante de donde procede la energía sino como se utiliza [6]. En la actualidad, se necesitan de fuentes no renovables suplementarias ya que, aunque se obtienen grandes cantidades renovables, hay momentos en los que no son suficientes.

Por esta razón, se puede asumir que la eficiencia energética es una tecnología en auge. Permite aprovechar al máximo la energía ante la problemática de almacenar y gestionar las fuentes renovables.

1.3 EFICIENCIA ENERGÉTICA EN ESPAÑA Y EUROPA

La intensidad energética primaria, expresada en Toneladas Equivalentes de Petróleo (TEP) por cada mil euros de Producto Interior Bruto (PIB), es el indicador que refleja la evolución de la eficiencia energética de un país, región o municipio. España tiene una elevada dependencia energética exterior cuyo nivel es superior al 80%, frente al 54% medio de la Unión Europea. Esta dependencia se mantuvo constante entre 1990 y 2005, y es a partir del 2006 cuando comenzó una reducción que se ha mantenido hasta la actualidad. Detrás de esta evolución histórica se encuentran dificultades para acometer ganancias de eficiencia energética dentro de cada sector, junto con un elevado peso en la economía española de la construcción y el turismo. También ha tenido cierta relevancia en la evolución de la intensidad energética española el fuerte crecimiento del sector de transporte, principal consumidor de energía en España con casi un 39% del consumo final de energía, y que ha registrado una tendencia de crecimiento insostenible del 180% desde 1980 a 2007 [7]. En España, existe una elevada dependencia de los combustibles fósiles. El Plan de Acción 2008-2012 tiene como objetivo europeo mejorar la eficiencia energética en un 20% en el 2020, para lograrlo, la tasa de crecimiento del consumo en energía primaria debería reducirse hasta el 1,07%. [8]

Es aquí donde entra la importancia de la Eficiencia Energética (EE) en nuestro país. Si se busca seguir creciendo de manera exponencial a la vez que se reduce la energía primaria, solo se puede realizar a través del uso de energías renovables y con un mayor aprovechamiento de los equipos disponibles. Es por esto que el desarrollo de la eficiencia energética comienza a ser fundamental y por lo que en poco tiempo se ha convertido en una pieza clave a la hora de producir.

Ante estas circunstancias, el Gobierno español, de acuerdo con las directivas y normativas que emanan de la Unión Europea ha elaborado el Plan de Acción y Eficiencia Energética 2011-2020. Los cinco objetivos de éste Plan son:

1. Reconocer en el ahorro y la EE un instrumento del crecimiento económico y del bienestar social.
2. Conformar las condiciones adecuadas para que se extienda y se desarrolle, en la sociedad, el conocimiento sobre el ahorro y la EE.
3. Impregnar el ahorro y la EE en todas las estrategias nacionales y especialmente en la Estrategia Española del cambio climático.
4. Fomentar la competencia en el mercado bajo el principio rector del ahorro y la EE.
5. Consolidar la posición de España en la vanguardia del ahorro y la EE. [9]



1.4 IMPORTANCIA DE LAS TECNOLOGÍAS IoT

El internet de las cosas (IoT) no es un concepto tan actual. Se tiene constancia que la primera conexión entre computadores se realiza mediante la red ARPANET, que, a pesar de que no se consideró la red de redes, supuso el primer nodo de lo que es ahora Internet. Esta red fue conectando terminales y dando lugar a nuevas redes (ALOHA, Ethernet...). Por lo que se puede asumir que ya conectaban cosas: computadoras. Aunque por sí solas no podían transferir información, es decir, necesitan de una persona que haga pasar la información de un lado a otro. Y en la otra parte, es necesaria otra persona que analice esa información y mande una respuesta. Diez años después, se implantó el protocolo TCP/IP que implementó con éxito la primera comunicación entre un cliente HTTP y un servidor en internet.

De forma simultánea Mark Weiser dio la idea de conectar elementos que no fueran computadores, su idea consistía en que los objetos cotidianos serían reemplazados por ordenadores invisibles (mucho más pequeños que los que había). Por lo que su principal concepto residía en que una computadora puede hacer muchas cosas pero que necesita mucha atención e información y por tanto, sería mucho más pequeña y práctica si solo necesitásemos una tarea. [10]

Uniendo estos dos conceptos de simplicidad y redes surge la idea de tecnologías IoT, para hacer que las personas sean capaces de seguir su vida cotidiana sin necesidad de introducir datos en una computadora y a la misma vez se cree una red donde se registren datos que faciliten nuestro bienestar. En definitiva se puede considerar IoT a cualquier producto o dispositivo que esté a nuestro alrededor que se encuentra interconectado.

En este estudio es de vital importancia las tecnologías IoT ya que se busca realizar un estudio y a la vez una comprobación de parámetros energéticos en un laboratorio donde hay un personal trabajando. Para un modelado con exactitud son necesarios datos de ocupación, consumos y temperatura que únicamente pueden ser tomados con frecuencia (cada hora) si se instalan este tipo de dispositivos.

Por tanto, se parte de una red que disponen los laboratorios del edificio Pleiades que posteriormente serán descritos con exactitud y que pertenece al proyecto Pleiades Infraestructuras de la UMU. Estos dispositivos se encuentran instalados en cada una de las salas y están interconectados con una nube donde se almacenan todos los datos.

Sin estos dispositivos el estudio únicamente se limitaría a cumplir estimaciones en cuanto a que se supone que hay dentro y cuál es la actividad que se está realizando. Pero gracias a los dispositivos IoT se puede saber con exactitud y en cada momento que está sucediendo sin necesidad de estar presentes y por tanto afinar a la hora de calcular la eficiencia del edificio. Además, se puede modelar las salas en particular sin tener en cuenta lo que le rodea y realizar simulaciones de: personal, líneas de corriente, efectos de transmisión de calor, iluminación y sombras.

Por consiguiente, estos dispositivos resultan esenciales para el modelado real de la zona y además su instalación resulta útil para proyectos vigentes, estudios posteriores y para una posible incorporación del modelo a la habitación a fin de controlar la zona.



1.5 ESTADO DEL ARTE

A continuación se procede a comentar el estado de desarrollo en que se encuentran el análisis de la eficiencia energética y los dispositivos IoT.

En cuanto a la eficiencia energética, actualmente en España se realizan continuos estudios de consumo y demandas en los edificios pero con la finalidad última de obtener un certificado que califique el mismo como apto en función de la ley vigente. Estos análisis más generalistas se realizan con programas como:

- Herramienta unificada Lider-Calener (HULC): Permite verificar el cumplimiento del CTE mediante la comparación de demandas y consumos de un edificio referencia. Indica si se cumple la HE1 y la HE0 por lo que posee herramientas para el análisis geométrico y de los equipos.
- Cerma: Software válido para edificios residenciales. Permite justificar los puntos básicos del documento de ahorro de energía de CTE.
- CE3X: procedimiento simplificado de calificación empleado para edificios existentes. [11]

En otros países la ley vigente posee márgenes distintos por lo que se emplean diferentes programas de certificación. Se recogen algunos que hacen referencia a los países más influyentes de la Unión Europea en el ámbito de la eficiencia energética.

- Alemania: PLA, para el análisis de la línea de producto, y MIPS, para el cálculo de impacto ambiental.
- Francia: ESCALE, evaluación de impacto ambiental en fases del proyecto del edificio.
- Reino Unido: BREEAM, método de evaluación ambiental del establecimiento de investigación del edificio, y ENVEST, usado generalmente para observar impacto ambiental.
- Dinamarca: UMIP, evaluación medioambiental del producto. [12]

Por lo general estos programas comparan los datos introducidos con unos valores de referencia a fin de afirmar si cumple o no con las restricciones. Hay software más avanzado que busca dar un paso más y analizar el comportamiento de los elementos internos, proporcionando así un mayor grado de ajuste y exactitud. Estos son utilizados de forma global ya que sirven para realizar investigaciones y no se limitan a cada país. Los más usados son:

- Open Studio: Permite el diseño a través de Sketch Up y tras realizar el modelado geométrico se exporta al OpenStudio donde a través del motor de cálculo EnergyPlus permite realizar un análisis energético completo del edificio.
- Desingbuilder: Programa que permite realizar situaciones dinámicas del comportamiento térmico, también emplea el motor EnergyPlus y permite realizar un estudio de forma visual de lo que ocurre energéticamente.
- Ecotect: Software de diseño pasivo que a través de una exportación a EnergyPlus permite obtener gran cantidad de diagramas y variables. [13]

Se observa como los programas más empleados de análisis térmico utilizan como motor EnergyPlus. Por tanto, en este proyecto se pretende manejar el uso de esta herramienta de cálculo desde su interfaz más básica a fin de obtener con máximo detalle la simulación. [14]



En referencia a las tecnologías IoT, se sabe que hoy en día no solo es una tecnología en auge sino que se encuentra de forma activa en el desarrollo de la vida cotidiana y participa como actor fundamental en el desarrollo de las Smart Cities. El aire que respiramos, el agua que bebemos, el tráfico, el consumo, la comida y los vehículos entre otros manejan gran cantidad de variables que son captadas por sensores interconectados. Este concepto de Smart City no sería posible sin una tecnología capaz de explotar todas estas fuentes (Big Data). Sin ir más lejos se puede observar aplicaciones IoT utilizadas en el sector industrial y la conexión de dispositivos mediante wifi o redes móviles gracias a una labor de recopilación y procesamiento de datos que hoy por hoy es fundamental en la sociedad.

Por tanto se puede introducir el concepto de Industria 4.0, y afirmar que se está produciendo lo que se conoce como la 4ª revolución industrial: La total integración de las tecnologías digitales en la industria. Estos avances se incluyen en los edificios de forma notable hasta el punto de que en la actualidad, se utilizan: control del sistema de climatización (HVAC) mediante termostatos, control de Iluminación, control de persianas etc. [15]

Se puede regular el nivel de iluminación de un edificio dependiendo del aporte de luz natural que tengamos en el mismo, si además se combina con “horarios” pre-establecidos se desarrolla un buen escenario para conseguir un grado de eficiencia energética realmente considerable. De la misma forma se puede establecer un sistema de control “HVAC” y sistemas de control de caudal variable, es decir, se está controlando el rendimiento de los climatizadores dependiendo del nivel de ocupación de salas en el edificio.

Con estos avances se plantea el proyecto Entropy que busca no solo controlar los dispositivos de consumo de los distintos laboratorios de Pleiades sino realizar herramientas basadas en soluciones de gamificación y recomendación, para abordar la reducción en el consumo energético integrando al usuario en el proceso. Para ello se emplean sensores y dispositivos IoT que recogen los datos de la zona y de los usuarios. Se sabe que el máximo ahorro energético solo es posible con la colaboración del personal presente, debido a que se debe mantener la relación de confortabilidad individual de forma global. Por lo que aunque se tenga el máximo control de los equipos es necesario conocer el estado de cada individuo. [16]

Las tecnologías IoT instaladas en Pleiades pueden contener desde sensores de registro de temperatura y CO₂ capaces de medir cada segundo con errores de menos del 10 % hasta dispositivos que registran cuando está enchufada una máquina. No obstante, también se considera IoT a los datos adquiridos de necesidades de iluminación, sensación térmica del trabajador y ocupación que son volcados a una nube y tratados como datos cuantitativos.

En este TFG se parte de esta idea de máxima eficiencia, es decir, se elabora un modelo energético, mediante Energy plus, donde se pueden controlar todos los parámetros geométricos y de los equipos pero que también tiene en cuenta el comportamiento de los usuarios mediante los dispositivos IoT. Se analizan, con estos últimos y con la colaboración de los trabajadores, los horarios de ocupación, iluminación necesaria, ropa del individuo, trabajo realizado, etc. Una vez que se ha elaborado se comparan con el resto de datos medidos mediante IoT. Empleando así las herramientas más novedosas de análisis y recogida de datos.



1.6 INTRODUCCIÓN

Teniendo en cuenta la importancia que tienen en el desarrollo de tecnología en la actualidad, los conceptos de IoT y eficiencia energética, se piensa en realizar un estudio en el que ambos se complementen con el fin de buscar una reducción económica y energética en el funcionamiento de un edificio. Por tanto, en este análisis se puede asumir que tecnologías IoT y eficiencia energética son dos conceptos que van de la mano. Puesto que sin IoT, la eficiencia energética de un edificio está restringida a estimaciones y predicciones que no son del todo ciertas. Y viceversa, sin el concepto de eficiencia energética, las tecnologías IoT de este análisis únicamente se limitarían a almacenar un conjunto de datos del comportamiento de un edificio.

Cabe destacar que este proyecto va enfocado a mejorar el uso de un edificio y observar cómo reacciona ante estímulos externos e internos. Hoy en día, la mayoría de personas viven y trabajan de forma cotidiana en edificios, pero estos, en un gran número de casos, no se proyectan ni se utilizan de acuerdo a la labor que van a realizar, sino que se tienen en cuenta otros aspectos como la estética, la accesibilidad, el precio, etc. Considerando que los edificios constituyen el mayor sector de consumo de energía de uso final, el diseño y desarrollo de soluciones dirigidas a reducir su consumo de energía en base a la adopción de técnicas energéticamente eficientes y el compromiso activo de los ciudadanos / ocupantes se considera crucial. Deben implementarse soluciones innovadoras al comprender adecuadamente los principales factores y tendencias que consumen energía, así como a modelar y comprender adecuadamente el comportamiento de los ciudadanos y el potencial de los cambios en el estilo de vida.

En estas líneas de trabajo, se encuentra el proyecto europeo ENTROPY, en el que forma parte la Universidad de Murcia. El proyecto ENTROPY aborda este desafío basándose en la integración de tecnologías que facilitan el despliegue de ecosistemas de TI energéticos e innovadores para motivar los cambios de comportamiento de los usuarios finales y a saber:

1. Internet de las Cosas que proporciona la capacidad de interconectar numerosos dispositivos y aplicando protocolos de comunicación energéticamente eficientes.
2. La evolución de técnicas avanzadas de Modelado y Análisis de Datos que apoyan la realización de modelos semánticos y mecanismos de extracción de conocimiento.
3. Las eras de Recomendación y Gamificación que pueden desencadenar interacción con usuarios relevantes en redes sociales, aumentar la conciencia de los usuarios finales sobre las formas de lograr ahorros en el consumo de energía en sus actividades diarias y adoptar estilos de vida eficientes desde el punto de vista energético, así como proporcionar un conjunto de recomendaciones y motivos energéticamente eficientes.

Se explotarán nuevas prácticas que integran completamente la información recopilada de un conjunto de redes de sensores y actividades móviles de detección colectiva junto con procesos para monitorear, informar y analizar conjuntos de datos con respecto al consumo de energía y el perfil conductual de los ciudadanos. El compromiso y la inclusión de los usuarios finales se apoyarán firmemente en el desarrollo de un conjunto de juegos serios y aplicaciones personalizadas. [17]



El propósito de este trabajo fin de grado es analizar la eficiencia de un edificio de uso público, al que se le han instalado más de 200 dispositivos IoT (Internet of Things) para capturar datos relativos al consumo energético y el confort. Los datos reales tomados de estos dispositivos se estudiarán frente a un modelo térmico de los laboratorios del edificio con las herramientas computacionales existentes para el análisis avanzado termodinámico de edificios; tanto de la envolvente térmica como de los equipos HVAC que climatizan el mismo. Utilizando los datos de los dispositivos IoT se pretende calibrar el modelo, para posteriormente hacer evaluación de escenarios en los que estos mismos dispositivos IoT han servido como actuadores para el ahorro energético. Las posibilidades de tener una zona de grandes dimensiones con sensores y actuadores IoT, nos permite una referencia real que sirve para contrastar la fiabilidad de los modelos diseñados. Esto nos lleva a poder afinar en el modelado del edificio, que después puede usarse para poder evaluar el efecto que la implantación de dispositivos IoT puede tener en otros edificios. Con esto, se pretende hacer un estudio detallado del edificio e identificar estrategias de rehabilitación que resultarían en un ahorro energético. La utilización de modelos simulados ayuda a comprender rápidamente como se distribuyen los flujos de calor en los edificios y de esta manera se pueden probar rápidamente distintas estrategias de eficiencia energética en el edificio.

El software utilizado es Energy Plus. EnergyPlus es un programa de simulación de energía de edificios que los ingenieros, arquitectos e investigadores utilizan para modelar tanto el consumo de energía (para calefacción, refrigeración, ventilación, iluminación y cargas de tapones y procesos) como el uso del agua en los edificios. Algunas de las características y capacidades notables de EnergyPlus incluyen:

- Solución integrada y simultánea de las condiciones de la zona térmica y la respuesta del sistema HVAC que no presupone que el sistema HVAC puede cumplir con las cargas de zona y puede simular espacios acondicionados y sin acondicionar.
- Solución basada en el equilibrio térmico de los efectos de radiación y convección que producen temperaturas superficiales, confort térmico y cálculos de condensación.
- Pasos de tiempo sub-horarios, definibles por el usuario para la interacción entre zonas térmicas y el ambiente; con pasos de tiempo variados automáticamente para interacciones entre zonas térmicas y sistemas HVAC. Estos permiten a EnergyPlus modelar sistemas con una dinámica rápida al tiempo que intercambia la velocidad de simulación por precisión.
- Modelo combinado de transferencia de calor y masa que toma en cuenta el movimiento de aire entre zonas.
- Modelos de fenestración avanzada que incluyen persianas de ventana controlables, acristalamientos electrocrómicos y balances de calor capa por capa que calculan la energía solar absorbida por los paneles de las ventanas.
- Cálculos de iluminancia y deslumbramiento para informar el confort visual y controlar los controles de iluminación.
- HVAC basado en componentes que admite configuraciones de sistemas estándar y novedosos.
- Una gran cantidad de estrategias integradas de control de iluminación y HVAC y un sistema de secuencias de comandos de tiempo de ejecución extensible para el control definido por el usuario.



- Importación y exportación de interfaz funcional de maqueta para la simulación conjunta con otros motores.
- Resumen estándar e informes de resultados detallados, así como informes definibles por el usuario con resolución temporal seleccionable de anual a sub horas, todos con multiplicadores de fuentes de energía. [18]

1.7 NORMATIVA APLICADA

El siguiente análisis energético se realiza a partir de las siguientes normas de edificación y energía:

- Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. Objeto: establecer reglas y procedimientos que permiten cumplir el requisito básico de ahorro de energía. Artículo 15. Exigencias básicas de ahorro de energía (HE)

HE 1: Limitación de la demanda energética.

HE 2: Rendimiento de las instalaciones térmicas.

HE 3: Eficiencia energética de las instalaciones de iluminación.

HE 4: Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria.

HE 5: Contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica.

- Actualización del DB HE (Orden FOM/1635/2013).

HE0. Limitación del consumo energético.

Los laboratorios no disponen de agua caliente sanitaria ni de placas fotovoltaicas por lo que no es necesario comprobar HE4 ni HE5. En cuanto a la iluminación se sabe que cumple con los requisitos de HE3 cuando se proyectó el edificio. Cabe comprobar si las instalaciones térmicas están correctamente dimensionadas y si la demanda energética es la adecuada HE2 y HE1. Además, se revisa los consumos para ver si son elevados. HE0. Pero el edificio Pleiades estaría excluido en esta ley para edificios de nueva construcción.

- Directiva 2010/31/UE. Para edificios existentes.

- UNE-EN 12464-1: 2003. Iluminación. Iluminación de los lugares de trabajo. Parte I: Lugares de trabajo en interiores.

- Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a la utilización de lugares de trabajo, que adopta la norma EN 12.464 y ha sido elaborada en virtud de lo dispuesto en el artículo 5 del Real Decreto 39/1997, de 17 de enero y en la disposición final primera del Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, que desarrollan la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales.

- Real Decreto 208/2005, de 25 de febrero, sobre aparatos eléctricos y electrónicos y la gestión de sus residuos.



1.8 METODOLOGÍA SEGUIDA

Para llevar a cabo este trabajo se han realizado las siguientes labores:

- Recolección de planos e información acerca del edificio Pleiades.
- Modelado geométrico a partir de Sketchup y Open Studio.
- Inclusión de parámetros de funcionamiento mediante energy plus en el modelo.
- Adquisición de datos de los equipos.
- Análisis y tratamiento de datos proporcionados por los sensores.
- Inclusión de datos de sensores y equipos en el modelo con energy plus.
- Ajuste del modelo.
- Análisis del modelo con datos reales.
- Predicción del modelo para un año de funcionamiento.
- Plantear posibles mejoras y verificar si es razonable su aplicación.

1.9 OBJETIVOS DEL PROYECTO

Con la metodología anterior se busca llegar a los siguientes objetivos:

- Obtener un modelo lo más aproximado posible de los laboratorios a tratar de Pleiades.
- Realizar predicciones de funcionamiento de los laboratorios para un año.
- Extrapolar los resultados del modelo obtenido al funcionamiento de todo el edificio.
- Recopilar normativa específica en este tipo de análisis.
- Verificar la importancia de las tecnologías IoT en este tipo de análisis.
- Considerar modificaciones en el edificio que mejoren la eficiencia de la zona.
- Analizar estrategias que supongan un ahorro económico y energético.
- Servir de base para estudios e instalaciones futuras de domotización de las salas.
- Concienciar a los trabajadores de la importancia del correcto uso de las instalaciones.
- Buscar estrategias de trabajo que supongan una reducción del consumo.
- Proporcionar análisis completo de los consumos y demandas.
- Comprobar si se respeta la confortabilidad del trabajador.
- Observar el estado de funcionamiento de los sensores y equipos.



2. EMPLAZAMIENTO DEL EDIFICIO

El edificio del que se va a modelar la planta de laboratorios se encuentra en la Universidad de Murcia en El Campus Universitario de Espinardo junto a las instalaciones de la piscina cubierta como se observa en las figuras 2.1 y 2.2. De ahora en adelante se denominará como edificio Pleiades y se considera como edificio para investigación.



Figura 2.1 Vista aérea del Campus Universitario de Espinardo.



Figura 2.2 Vista aérea de la parcela del edificio Pleiades.



El área de parcela delimitada para la construcción del edificio es prácticamente un cuadrado de 10.982.77 m². Consta de 5 plantas de altura máxima además de la planta baja, repartidas en 4 edificios.

El edificio 1 tiene 5 plantas, el edificio 2 dispone de 3 plantas y el edificio 3 consta de 3 plantas. El cuarto edificio será una biblioteca (CRAI) con 2 plantas. Figura 2.3

Horizontalmente el edificio se organiza en torno a un gran eje corredor que separa las zonas de investigación de la zona de Biblioteca, cuya prolongación permitiría conectar en el futuro con las ampliaciones. La orientación del edificio es la que se observa en la figura 1.3 teniendo una latitud de 38°.

Los laboratorios a simular se encuentran en el primer nivel del edificio 2

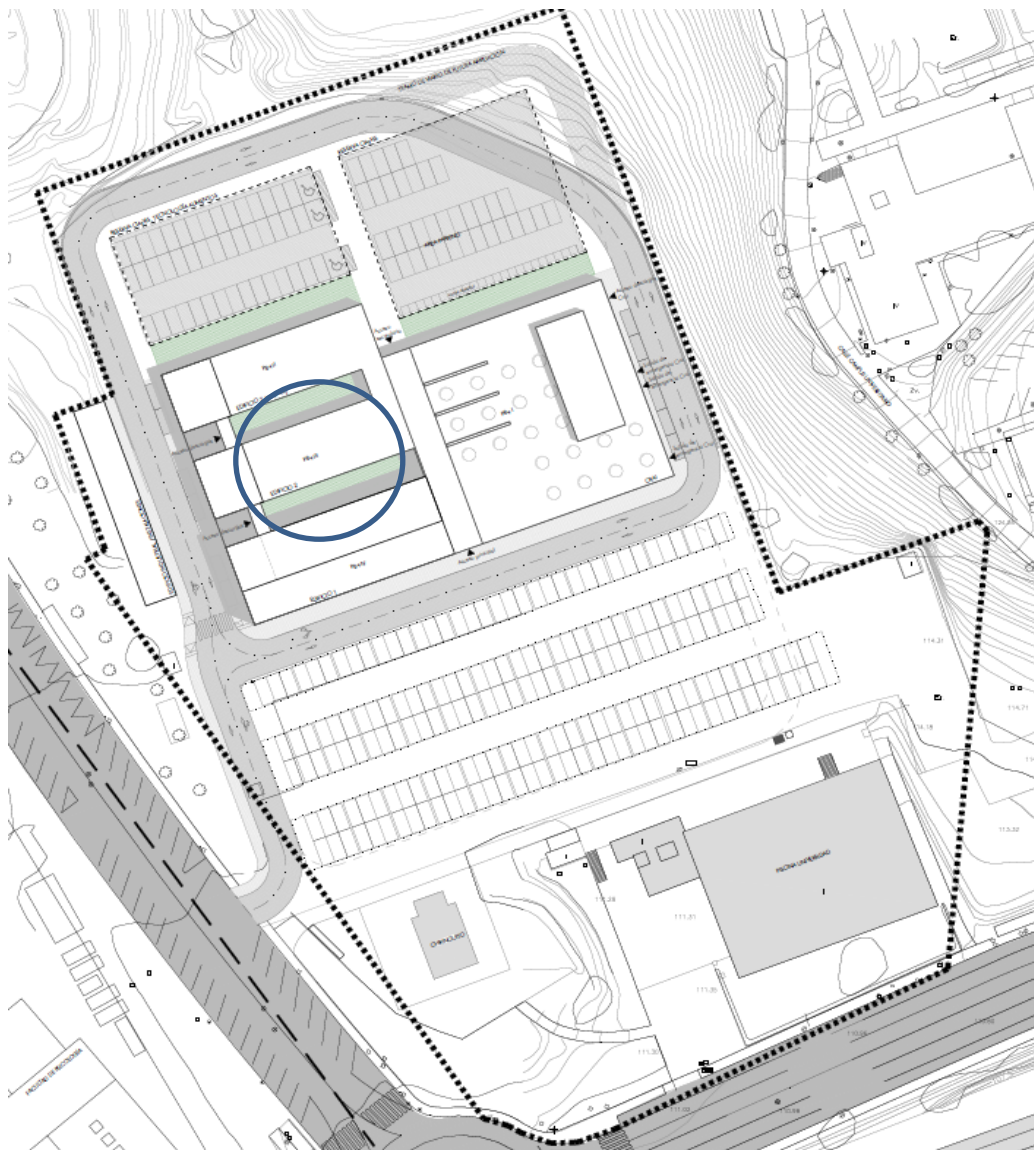


Figura 2.3 Vista en planta del edificio Pleiades.



Dichas salas donde se encontrarán los sensores constan de 4 habitaciones completamente diferenciadas donde el uso y la ocupación serán similares. Estas habitaciones limitan con un pasillo por el cual se accede a las mismas y con el exterior por su extremo opuesto. Tanto el pasillo como los laboratorios lindan con dos patios interiores. Figuras 2.4, 2.5 y 2.6. [19]

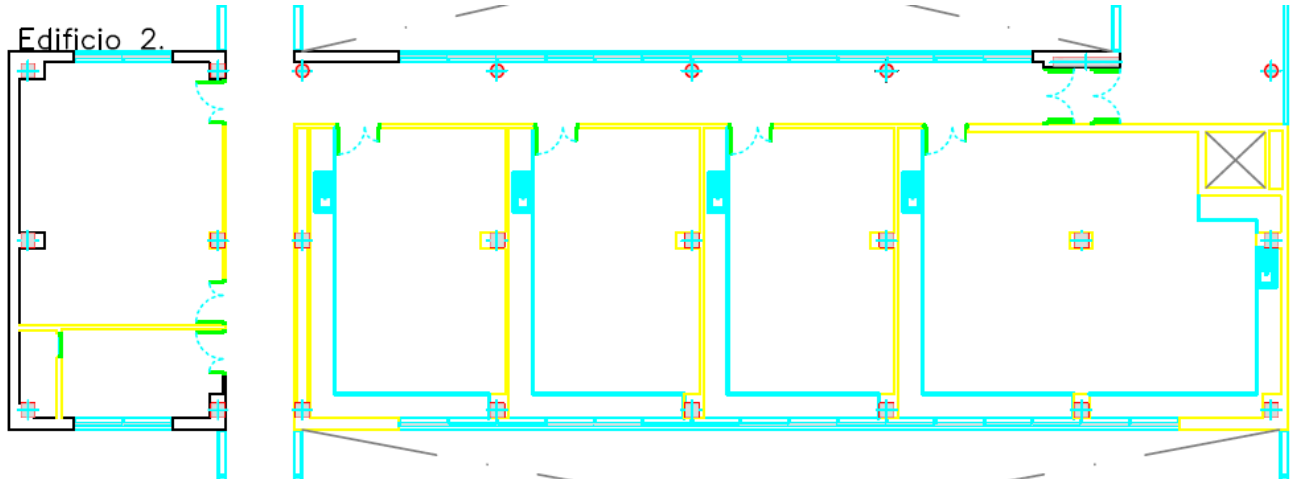


Figura 2.4 Vista en planta del primer nivel del edificio 2 de Pleiades.

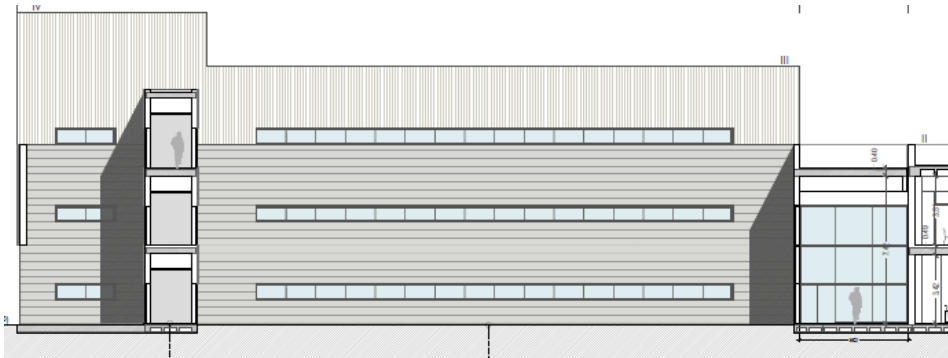


Figura 2.5 Edificio 2 de Pleiades visto desde el sur.

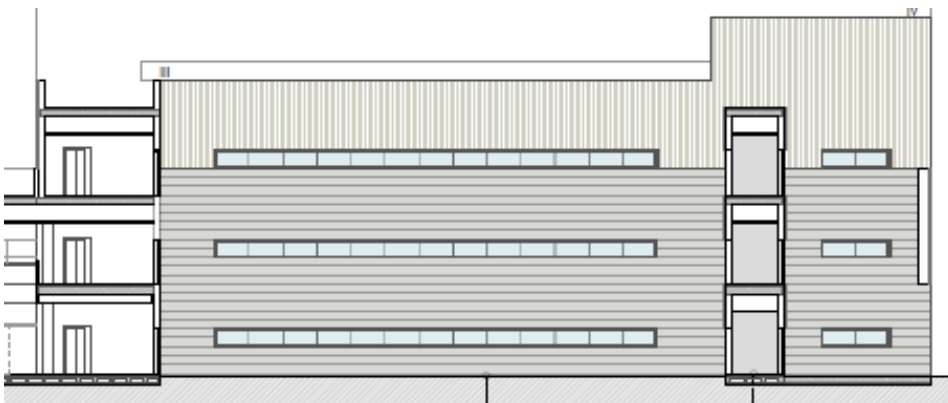


Figura 2.6 Edificio 2 de Pleiades visto desde el norte.



3. MODELADO GEOMÉTRICO

Se realizará una representación de los laboratorios y de los pasillos en 3D para observar su situación y así comenzar a realizar las consideraciones y estimaciones oportunas. Para ello se recurre al programa SketchUp que permite una representación sencilla y muy intuitiva. Figuras 3.1, 3.2 y 3.3.

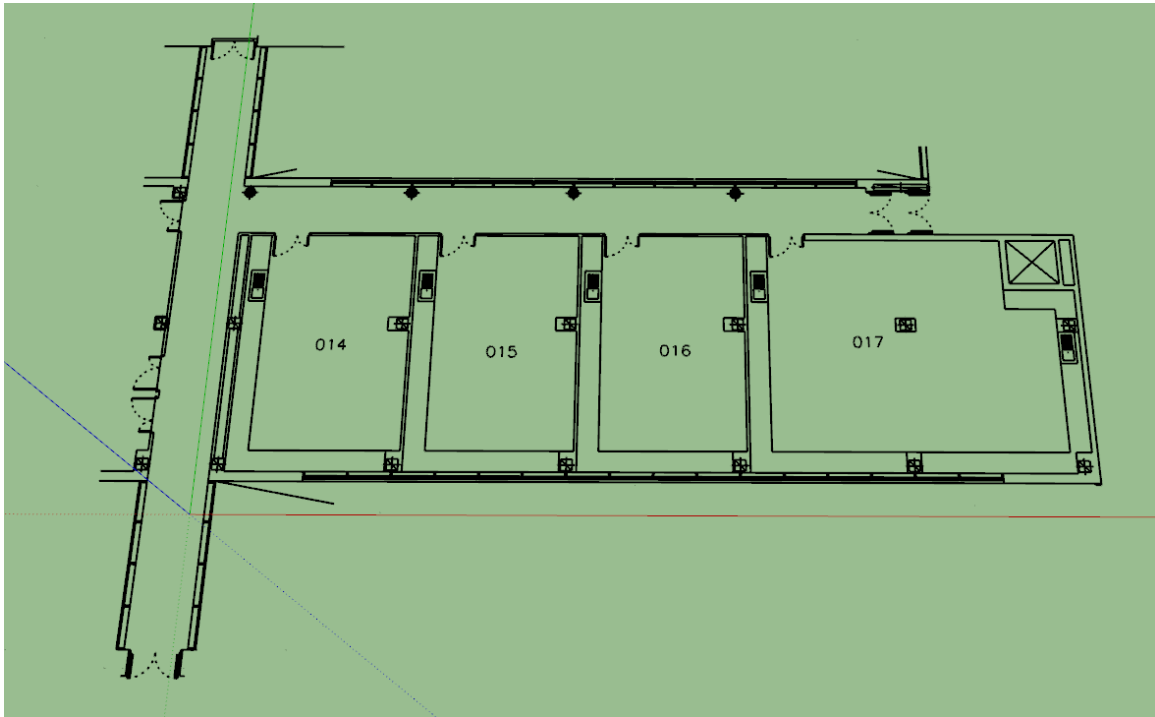


Figura 3.1 Planta del Edificio 2 de Pleiades.

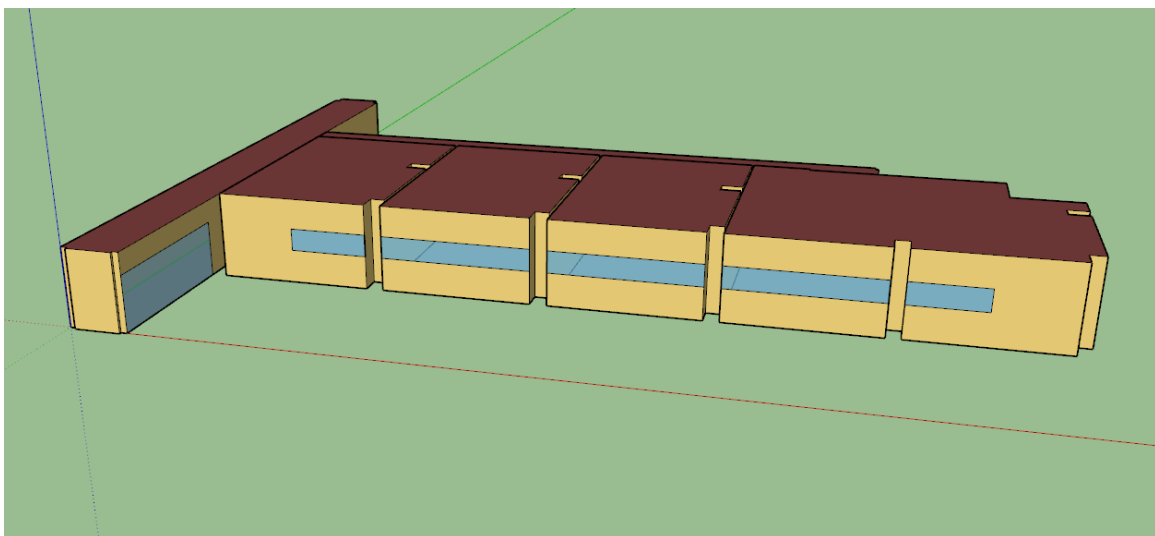


Figura 3.2 Modelado de laboratorios y pasillos visto desde el sur.

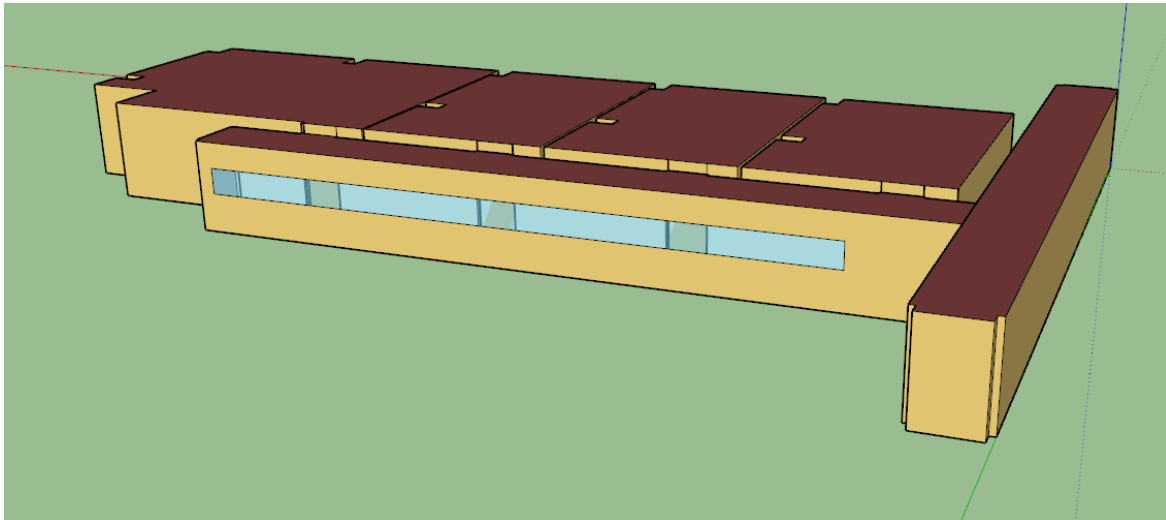


Figura 3.3 Modelado de laboratorios y pasillos visto desde el norte.

Las medidas de este modelo que se asemejan a las de la realidad son:

- Zona interior de la habitación 14: 6m de ancho, 3,11m de alto y una profundidad de 8,96m.
- Zona interior de la habitación 15 y 16: 5,9m de ancho, 3,11m de alto y una profundidad de 8,96m.
- Zona interior de la habitación 17: 11,92m de ancho, 3,11m de alto y una profundidad de 8,96m. Con una zona no ocupada de 2,56 x 2,11 x 3,11 m
- Zona interior pasillo 12: 2,09m de ancho, 2,8m de alto y una profundidad de 23,09m.
- Zona interior pasillo 13: 23,16m de ancho, 2,8m de alto y una profundidad de 1,9m.

Además, se disponen de ventanas de 0,8m de alto a una distancia del suelo de 1,2m. Las delanteras se dispondrán a lo largo de 24m y las traseras pertenecientes al pasillo 13 a lo largo de 19,7 m. También se tienen dos grandes vidrieras en el pasillo 12 en ambas esquinas inferiores de 6 x 2 m.

Una vez que ya se ha representado la zona interior de la planta, es decir, la zona que se va a ocupar, la cual es la que interesa desde el punto de vista de la eficiencia. Se puede observar que para un correcto modelado energético se deberían considerar, en cuanto a la geometría, las juntas de las puertas y las columnas, y las ventanas, es decir los puentes térmicos que se producen en la construcción. Como no se tienen cálculos exactos en el proyecto de estos valores se utilizarán posteriormente aproximaciones a la hora de realizar el estudio energético de la zona pero no se consideran en la geometría.

Por tanto, se recurre a la simplificación del modelado 3D con el fin de tener una visión más concreta de los mecanismos de transmisión de energía. Figuras 3.4 y 3.5

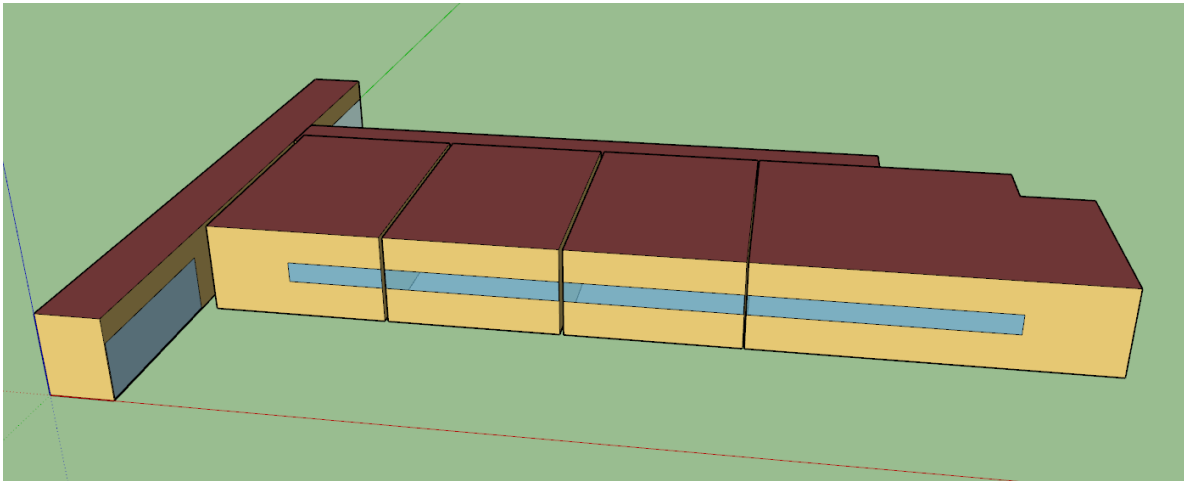


Figura 3.4 Modelado de geometría energética de laboratorios y pasillos visto desde el sur.

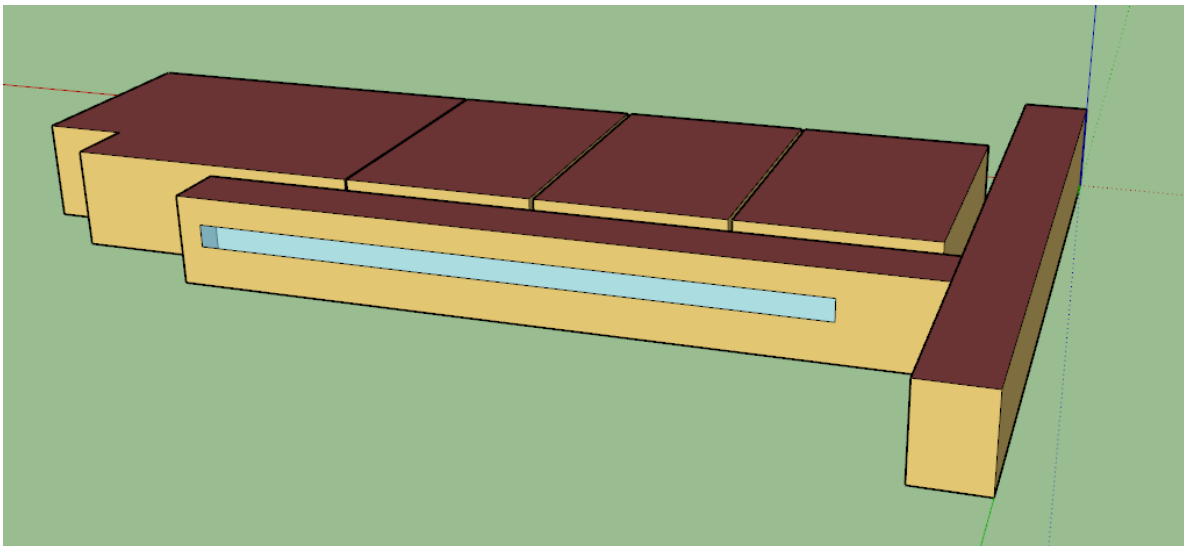


Figura 3.5 Modelado de geometría energética de laboratorios y pasillos visto desde el norte.

Se puede asumir que el modelado geométrico es similar al real y se pueden apreciar los niveles de ocupación en las Figuras 3.6, 3.7 y 3.8.

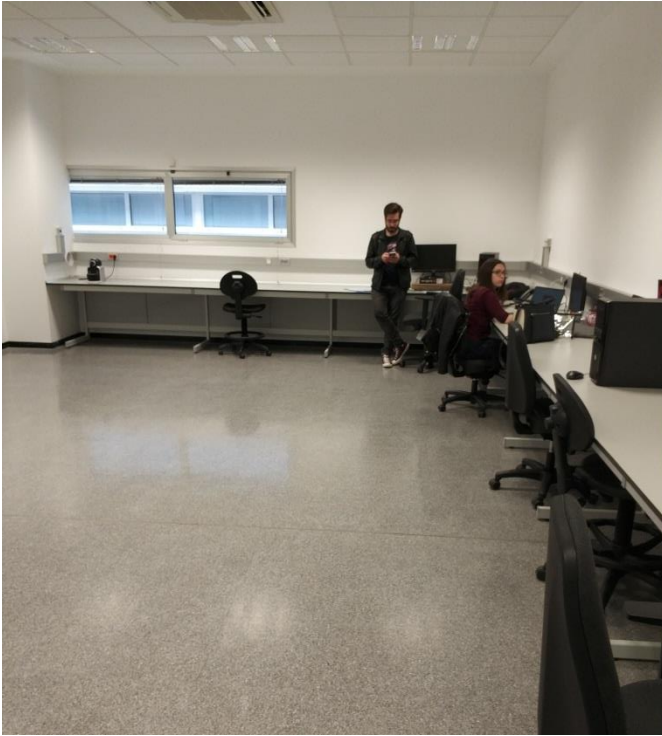


Figura 3.6 Habitación 14.

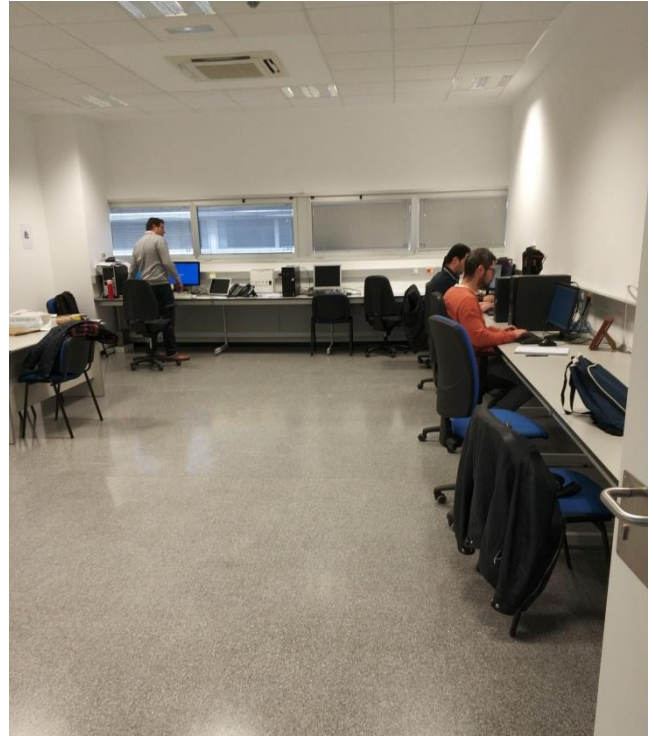


Figura 3.7 Habitación 15 y 16.



Figura 3.8 Habitación 17.



Con respecto a su orientación geográfica, el edificio se encuentra orientado -20° con respecto al eje Norte. Figura 3.9

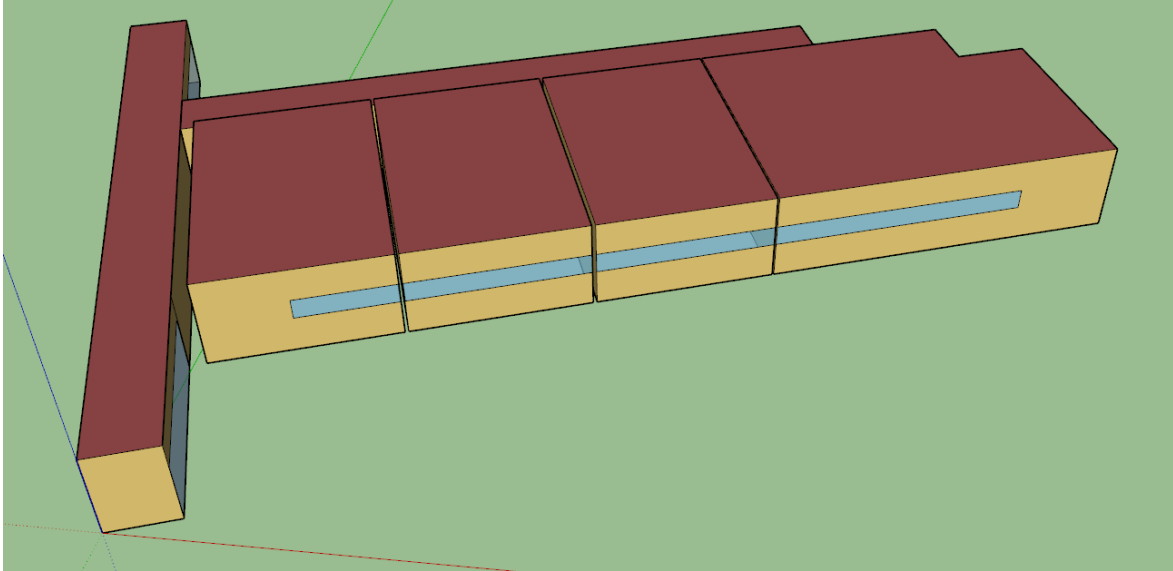


Figura 3.9 Orientación del edificio.

Con esto quedarían completamente definidos los parámetros y variables de los que depende el modelo energético del edificio en cuanto a su geometría.

Se procede a introducir otros que dependerán de la forma de uso del edificio, construcción y ocupación.



4. INCLUSIÓN DE PARÁMETROS EN EL MODELO

Con el fin de analizar de forma exhaustiva los aspectos influyentes que afectan al confort del edificio se recurre a la introducción de diversos parámetros. Para ello se emplea Energy Plus. Este programa podrá ser utilizado en el modelo mediante otros programas: Open Studio y el plugin Euclid.

4.1 LOCALIZACIÓN

El edificio posee una latitud de 38,0245°, una longitud de -1,1732°. De franja horaria +1 GTM y con una altitud de 60m sobre el nivel del mar.

4.2 PERIODOS LABORABLES Y FESTIVOS

Se simulará los 365 días del año, desde el 1 de enero hasta el 31 de diciembre y se incluirán los siguientes festivos. Figura 4.1

Periodos no lectivos que afectan a toda la Universidad de Murcia y a todos sus campus, dependencias y colectivos

Romería	12 de septiembre (martes)
Fiesta nacional	12 de octubre (jueves)
Día de Todos los Santos	1 de noviembre (miércoles)
Constitución Española	6 de diciembre (miércoles)
Inmaculada	8 de diciembre (viernes)
Vacaciones navideñas	23 de diciembre (sábado) al 6 de enero (sábado)
Santo Tomás de Aquino	26 de enero (viernes)
San José	19 de marzo (lunes)
Semana Santa y Fiestas de Primavera	26 de marzo (lunes) al 8 de abril (domingo)
Día del Trabajo	1 de mayo (martes)
Día de la Región de Murcia	9 de junio (sábado)
Mes de agosto	Vacaciones de verano
Sábados	Excepto convocatorias oficiales y eventos específicos

Figura 4.1 Calendario de festivos del edificio.

4.3 HORARIOS DE JORNADA

Para un correcto análisis térmico hay que tener en cuenta el tiempo aproximado que van a estar en funcionamiento las salas, por tanto, se definen unas jornadas de trabajo para cada equipo y el funcionamiento de estas en tanto por uno. Figura 4.2

Se definen diversos módulos: Luces, equipamiento, ocupación, infiltraciones, horas de operación, puntos de calor y frío, actividad y ropa entre otros.

Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8	Obj9	Obj10	Obj11	Obj12	Obj13	Obj14
Luces Schedule	Equipo Schedule	Ocupacion Schedule	Infiltracion Schedule	Infiltracion Half On	Infiltracion Quarter C	Horas de operacion	Always On	Always Off	Heating Setpoint Sc	Cooling Setpoint Sc	Actividad Schedule	Office Work Eff. Sc	Ropa Schedule
Fraction	Fraction	Fraction	Fraction	Fraction	Fraction	On/Off	Fraction	Fraction	Temperature	Temperature	Any Number	Fraction	Any Number
Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 04/30
For: Weekdays	For: Weekdays	For: Weekdays	For: Weekdays Sun	For: Weekdays Sun	For: Weekdays Sun	For: Weekdays Sun	For: AllDays	For: AllDays	For: Weekdays	For: Weekdays Sun	For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays
Until: 05:00	Until: 08:00	Until: 06:00	Until: 06:00	Until: 06:00	Until: 06:00	Until: 06:00	Until: 24:00	Until: 24:00	Until: 05:00	Until: 06:00	Until: 24:00	Until: 24:00	Until: 24:00
0,05	0,4	0	1	1	1	0	1	0	15,6	30	120	0	1
Until: 07:00	Until: 12:00	Until: 07:00	Until: 22:00	Until: 22:00	Until: 22:00	Until: 22:00	Until: 22:00		Until: 19:00	Until: 22:00			Through: 09/30
0,1	0,9	0,1	0	0,5	0,25	1			21	24			For: AllDays
Until: 08:00	Until: 13:00	Until: 08:00	Until: 24:00	Until: 24:00	Until: 24:00	Until: 24:00	Until: 24:00		Until: 24:00	Until: 24:00			Until: 24:00
0,3	0,8	0,2	1	1	1	0			15,6	30			0,5
Until: 17:00	Until: 17:00	Until: 12:00	For: Saturday Winte	For: Saturday Winte	For: Saturday Winte	For: Saturday Winte			For SummerDesignC	For: Saturday			Through: 12/31
0,9	0,9	0,95	Until: 06:00	Until: 06:00	Until: 06:00	Until: 06:00			Until: 24:00	Until: 06:00			For: AllDays
Until: 18:00	Until: 18:00	Until: 13:00	1	1	1	0			15,6	30			Until: 24:00
0,5	0,5	0,5	Until: 18:00	Until: 18:00	Until: 18:00	Until: 18:00			For: Saturday	Until: 18:00			1
Until: 20:00	Until: 24:00	Until: 17:00	0	0,5	0,25	1			Until: 06:00	24			
0,3	0,4	0,95	Until: 24:00	Until: 24:00	Until: 24:00	Until: 24:00			15,6	Until: 24:00			
Until: 22:00	For: SummerDesignDay	Until: 18:00	1	1	1	0			Until: 17:00	30			
0,2	Until: 24:00	0,3	For: Sunday Holiday	For: Sunday Holiday	For: Sunday Holiday	For: Sunday Holiday			21	For: WinterDesignD			
Until: 23:00	1	Until: 20:00	Until: 24:00	Until: 24:00	Until: 24:00	Until: 24:00			Until: 24:00	Until: 24:00			
0,1	For: Saturday	0,1	1	1	1	0			15,6	30			
Until: 24:00	Until: 06:00	Until: 24:00							For: WinterDesignD	For: Sunday Holiday			
0,05	0,3	0,05							Until: 24:00	Until: 24:00			
For: SummerDesignDay	Until: 08:00	For: SummerDesignDa							21	30			
Until: 24:00	0,4	Until: 06:00							For: Sunday Holiday	Until: 24:00			
1	Until: 12:00	0							15,6				
For: Saturday	0,5	Until: 22:00											
Until: 06:00	Until: 17:00	1											
0,05	0,35	Until: 24:00											
Until: 08:00	Until: 24:00	0,05											
0,1	0,3	For: Saturday											
Until: 12:00	For: WinterDesignDay	Until: 06:00											
0,3	Until: 24:00	0											
Until: 17:00	0	Until: 08:00											
0,15	For: Sunday Holidays All	0,1											
Until: 24:00	Until: 24:00	Until: 12:00											
0,05	0,3	0,3											
For: WinterDesignDay		Until: 17:00											
Until: 24:00		0,1											
0		Until: 19:00											
For: Sunday Holidays All		0											
Until: 24:00		Until: 24:00											
0,05		0											
		For: WinterDesignDay											
		Until: 24:00											
		0											
		For: Sunday Holidays /											
		Until: 06:00											
		0											
		Until: 18:00											
		0											
		Until: 24:00											
		0											

Figura 4.2 Módulos de eficiencia

4.4 MATERIALES

Se procede a definir la composición tanto de muros como de ventanas con el fin de obtener la estructura real representada en el edificio. Esta composición se definirá por capas de diversos materiales que completarán la geometría por lo que primero se deben introducir en la base de datos los materiales empleados en estas capas. Figura 4.5. En el modelo se distinguen varios tipos de recubrimientos:

Paredes exteriores. Figura 4.3

F FACHADA

- F1.A REVESTIMIENTO DE FACHADA VENTILADA
PIEDRA NATURAL DE $e=30$ MM
- F1.B REVESTIMIENTO DE FACHADA VENTILADA
CHAPA GRECADA DE $e=30$ MM
- F2. ANCLAJE METÁLICO DE APLACADO A SUBESTRUCTURA
- F3. SUBESTRUCTURA PORTANTE DE PERFILERÍA DE ALUMINIO
- F4. AISLAMIENTO TÉRMICO-ACÚSTICO NO HIDRÓFILO
LANA DE ROCA
- F5. ANCLAJE DE SUBESTRUCTURA A FÁBRICA
- F6. EMBARRADO EXTERIOR CON MORTERO NO HIDRÓFILO
- F7. FÁBRICA DE L.P. (24x11.5x5CM)
- F8. EMBARRADO INTERIOR CON MORTERO NO HIDRÓFILO
- F9. PERFILERÍA AUTOPORTANTE PARA TRASDOSADO DE
PLACAS DE CARTÓN YESO
- F10. PLACA DE CATÓN YESO DE $e=15$ MM
- F11. PERFIL IPN 160
- F12. ANGULAR APOYO DE CERRAMIENTO L.100.12
- F13. DINTEL METÁLICO
- F14. CHAPA PLEGADA
- F15. CARPINTERÍA VENTANA OSCILOVARIANTES CON ROTURA
DE PUENTE TÉRMICO
- F16. VIDRIO TÉRMICO-ACÚSTICO. LUNA DE PROTECCIÓN SOLAR

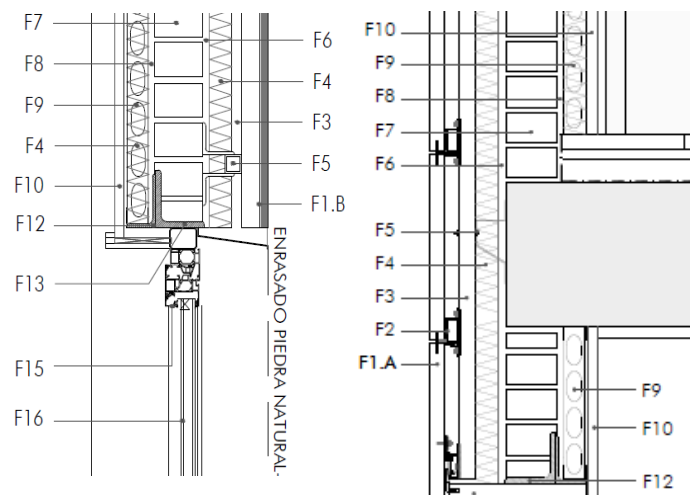


Figura 4.3 Composición de fachada

Fachada ventilada de piedra natural o chapa conformada.

- Hoja interior formada por trasdosado autoportante de placa de fibra de yeso de 15mm, fijado mediante montantes de 46 mm incluyendo lámina de lana de roca de 40mm en su interior; o trasdosado que se indique en su caso en los planos correspondientes.
- Hoja de cerámica formada por citara de ladrillo perforado (24x11.5x5cm) embarrada por la cara interior (15 mm) y enfoscada por la exterior (15mm).
- Aislamiento térmico-acústico no hidrófilo de lana de roca de 40 mm de espesor.
- Subestructura oculta de aluminio galvanizado con guías.
- Piel exterior ventilada a base de placas de piedra natural o chapa grecada de 30 mm de espesor.



Muros interiores.

Las divisiones se componen de tabiquería seca de fibra de yeso sobre perfilería oculta de chapa galvanizada con el aislamiento termo-acústico adecuado a cada uso. Las placas de yeso que formen parte de los núcleos húmedos son hidrófugas.

Las distribuciones de tabiquería seca son en general de 10 cm. de espesor con estructura autoportante, de metal galvanizado, con montantes sencillos de 70 mm, separados 40 cm. y horizontales en refuerzos de instalaciones.

Techos.

Además, se han utilizado las siguientes tipologías de falso techo:

- Para los pasillos se encuentran dispuestos falsos techos de lamas de aluminio de 30 cm con un espesor de 0,7 mm.
- Para las salas un falso techo de placa de yeso de 13mm colocado sobre una estructura de acero oculta.

Por encima del falso techo se encuentra una separación de 40 cm hasta el forjado de hormigón.

Suelos.

La composición del suelo se puede observar en la Figura 4.4

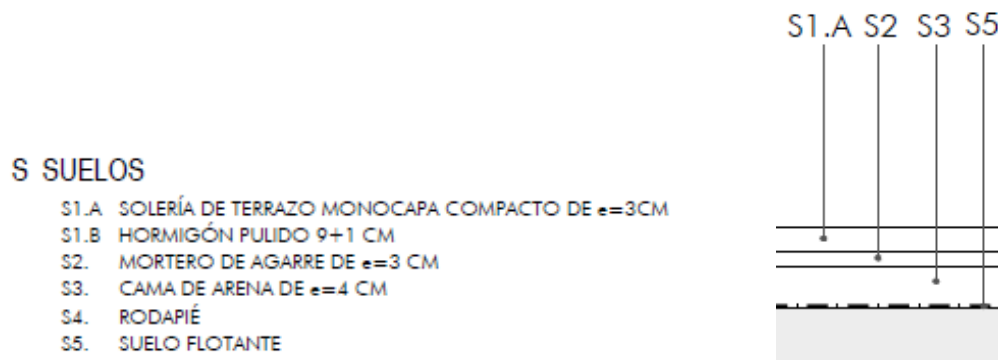


Figura 4.4 Composición del suelo.

- Se observa una primera capa de 3 cm de terrazo.
- A continuación una capa de mortero de 3 cm.
- Una capa de arena de 4 cm.
- Por último se aprecia un suelo flotante de 2,5 mm de EPDM+PE.



El suelo flotante se apoya sobre la propia estructura del edificio que es una losa de hormigón armado de 30 cm de espesor.

Field	Units	Obj12	Obj13	Obj14	Obj15	Obj16	Obj17	Obj18	Obj19	Obj20	Obj21	Obj22	Obj23	Obj24
Name		Piedra ventilada	F18 Terrazzo	Aluminio	Lana de roca	Mortero	Ladrillo	Placa de yeso	Placa de yeso interi	Placa de yeso tech	Aluminio Techo	Arena	Mortero	Hormigon armad
Roughness		MediumRough	Rough	Smooth	Rough	VeryRough	MediumRough	Smooth	Smooth	Smooth	Smooth	VeryRough	VeryRough	Rough
Thickness	m	0,03	0,03	0,015	0,04	0,015	0,05	0,015	0,1	0,013	0,007	0,04	0,03	0,03
Conductivity	W/m-K	2	1,8	205	0,04	0,8	0,78	0,25	0,25	0,25	205	1,5	0,8	2,3
Density	kg/m3	1706	2560	2700	70	1600	1760	800	800	800	2700	1500	1600	2400
Specific Heat	J/kg-K	880	790	900	840	1000	790	1000	1000	1000	900	2000	1000	1000

Figura 4.5 Propiedades de los materiales de construcción.

Ventanas.

Se encuentran dos tipos de ventanas en nuestra simulación:

Ventanas que pertenecen a salas y pasillos. Figura 4.6

Cristaleras del pasillo 12. Figura 4.7

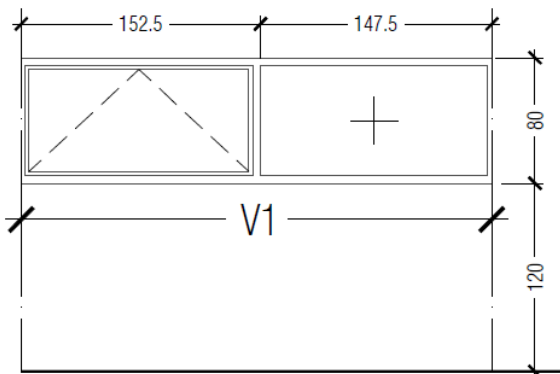


Figura 4.6 Ventanas de las salas y pasillos.

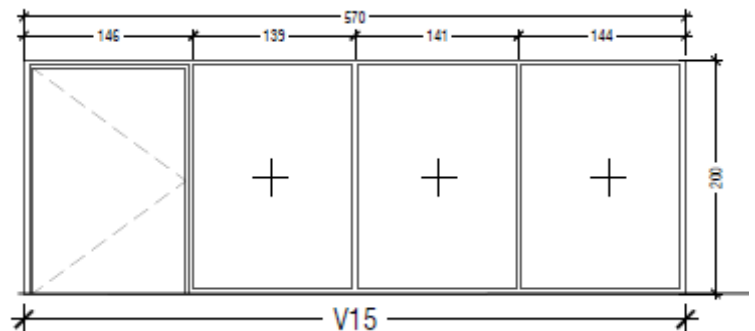


Figura 4.7 Cristaleras pasillo 12.

Los vidrios empleados en ambos casos son vidrio de doble acristalamiento con espesor total 28 mm, formado por dos vidrios bajo emisivo de 6 mm templado y cámara de aire deshidratado entre ellos de 16 mm. Además se añade una carpintería de aluminio para los marcos.

4.5 COMPOSICIÓN DE MUROS

Una vez que se han introducido los materiales se procede a introducir la composición de los muros en el modelado. Figura 4.8

Obj12	Obj13	Obj14	Obj15	Obj16	Obj17
Pared exterior	Pared interior	Techo pasillo	Techo sala	Suelo	Ventana
Piedra ventilada	Placa de yeso interior	Hormigon armado	Hormigon armado	Hormigon armado	Vidrio 6MM
Aluminio		Aire Falso Techo	Aire Falso Techo	Arena	Aire 16mm
Lana de roca		Aluminio Techo	Placa de yeso techo	Mortero	Vidrio 6MM
Mortero				F18 Terrazzo	
Ladrillo					
Mortero					
Lana de roca					
Placa de yeso					

Figura 4.8 Capas del modelo.

4.6 EQUIPOS

Una vez que el modelo está completamente definido se buscará introducir unas máquinas similares a las que posee el edificio. Para ello en primer lugar se revisa el planteamiento de la climatización del mismo que sigue un esquema como el siguiente. Figura 4.9. El sistema posee una unidad principal que alimenta a otras unidades secundarias con las cuales se mantienen las condiciones requeridas y a su vez estas indican a la unidad principal cual es la carga necesaria que debe aportar a cada una.

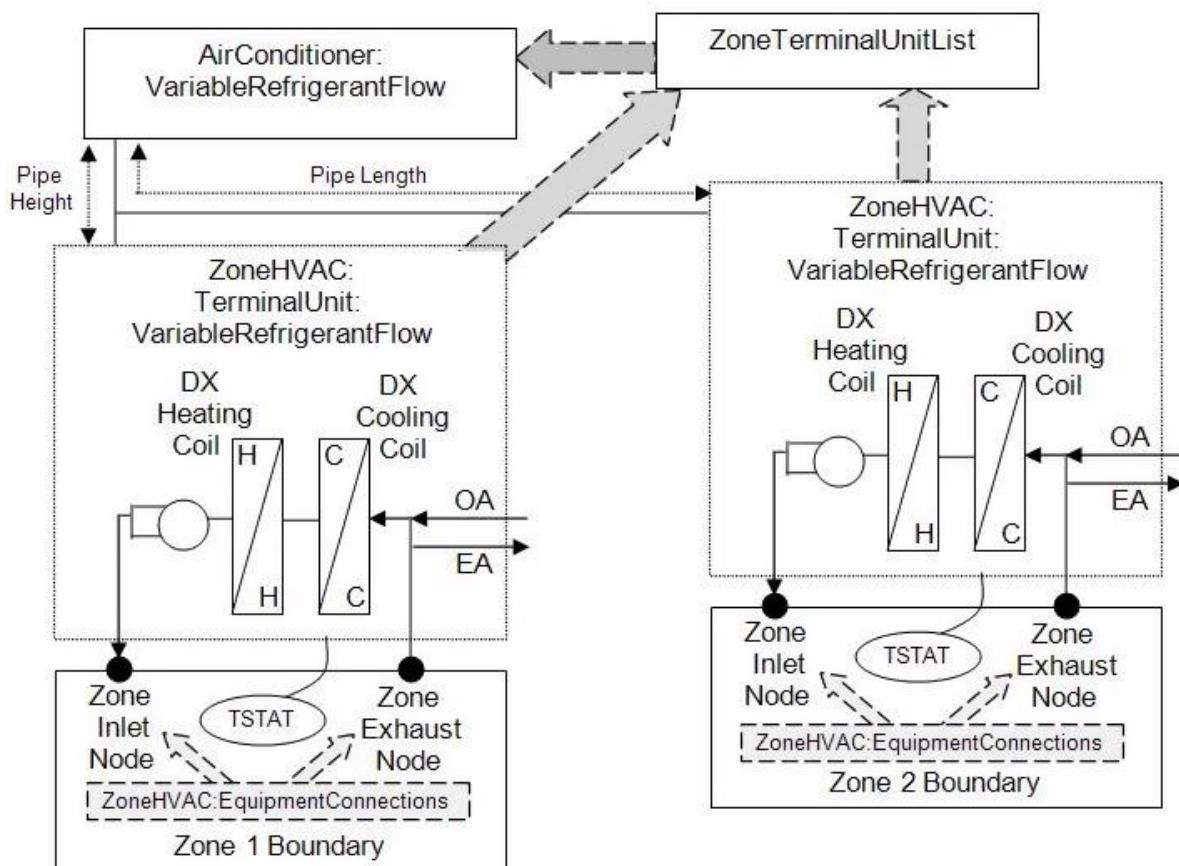


Figura 4.9 Esquema general de la climatización del edificio.



Para introducirlas en el modelo con el programa se sigue el siguiente esquema. Figura 4.10

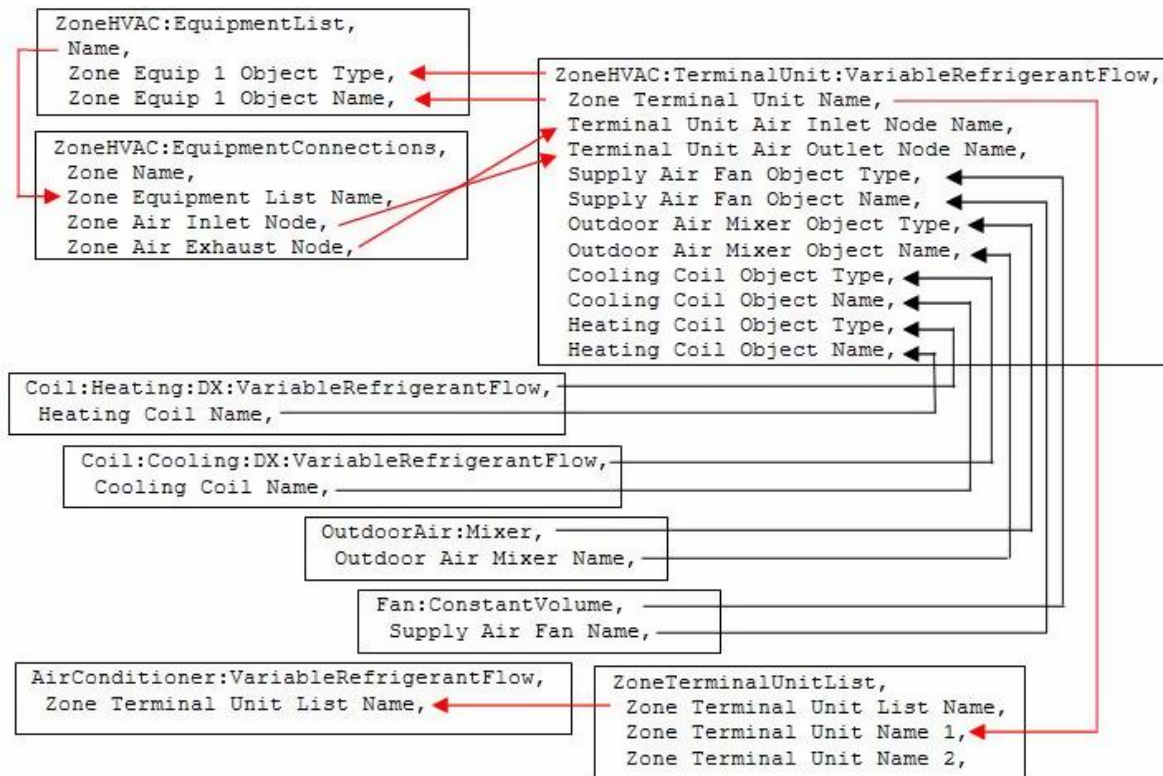


Figura 4.10 Variables de climatización a introducir.

La unidad que se encuentra en el exterior y que distribuye a los laboratorios de esta planta es una MMY-AP3014HT8. Figura 4.11.

Categoría	SMMS Compacto 2T
Capacidad de refrigeración (kW)	85.0
Capacidad de calefacción (kW)	95.0
Consumo de refrigeración (kW)	25.2
Consumo de calefacción (kW)	25.4
EER (adim)	3.37
COP (adim)	3.74



Figura 4.11 Unidad MMY-AP3014HT8.

Pero en lugar de una sola máquina hay dos de potencias equivalentes por cuestiones de diseño. Figura 4.12. Son los modelos MMY-MAP1404HT8 y MMY-MAP1604HT8.

Categoría	SMMS Compacto 2T	Categoría	SMMS Compacto 2T
Capacidad de refrigeración (kW)	40.0	Capacidad de refrigeración (kW)	45.0
Capacidad de calefacción (kW)	45.0	Capacidad de calefacción (kW)	50.0
Consumo de refrigeración (kW)	11.5	Consumo de refrigeración (kW)	13.7
Consumo de calefacción (kW)	11.2	Consumo de calefacción (kW)	14.2
EER (adim)	3.48	EER (adim)	3.29
COP (adim)	4.02	COP (adim)	3.52

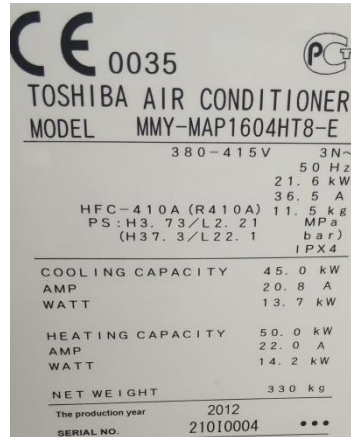
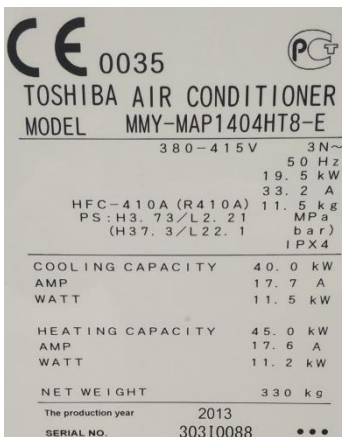


Figura 4.12 Unidades MMY-MAP1404HT8 y MMY-MAP1604HT8 en la instalación.

Las curvas de rendimiento de dichas instalaciones se han obtenido de <https://bcl.nrel.gov/node/83605> Building Component Library para poder tener una simulación precisa, ya que el fabricante no provee las curvas de sus máquinas. Se ha buscado la máquina genérica más similar a la que se ha usado en el edificio de estudio.

Además se puede observar en la instalación que se encuentran junto a la unidad de tratamiento de aire. Figura 4.13. En nuestro modelo esta unidad de aire se ha considerado como una ventilación forzada simple.



Figura 4.13 Unidades MMY-MAP1404HT8 y MMY-MAP1604HT8 en la instalación junto a la UTA.

Las unidades interiores que se encuentran en los laboratorios de esta planta son 10 terminales de tipo fancoil que se encuentran distribuidas equitativamente y tiene forma cassette, teniendo 4 en la habitación 17 y 2 en el resto de habitaciones. Figura 4.14

Categoría	Cassette 4 vías
Capacidad de refrigeración total (kW)	11.2
Capacidad de refrigeración sensible (kW)	7.7
Capacidad de calefacción (kW)	12.5
Caudal de aire (m³/h)	1430
Potencia del ventilador (W)	88



Figura 4.14 Unidades MMU-MAP0362H de las habitaciones.



El ventilador de dichos cassettes posee un incremento de presión

$$\Delta P = 1000 * 0,7 * \frac{W}{v} = 0,7 * \frac{88}{0,3972} \sim 155 Pa$$

Además, se añade un termostato a cada zona para obtener la temperatura aproximada y así calcular el resto de variables. [20]

4.7 PERSONAS EN LAS SALAS

Se supondrá que hay 3 personas en las salas 14,15 y 16 y 4 personas en la sala 17 con un nivel de actividad bajo y cuya ocupación estará regulada por el horario previamente definido.

Además, tendrán una fracción radiante de 0,3 y unas emisiones de CO₂ normalizadas.

Figura 4.15

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4
Name		Gente14	Gente15	Gente16	Gente17
Zone or ZoneList Name		Habitacion14	Habitacion15	Habitacion16	Habitacion17
Number of People Schedule Name		Ocupacion Schedules	Ocupacion Schedules	Ocupacion Schedules	Ocupacion Schedules
Number of People Calculation Method		People	People	People	People
Number of People		3	3	3	4
People per Zone Floor Area	person/m2				
Zone Floor Area per Person	m2/person				
Fraction Radiant		0,3	0,3	0,3	0,3
Sensible Heat Fraction		autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate
Activity Level Schedule Name		Actividad Schedule	Actividad Schedule	Actividad Schedule	Actividad Schedule
Carbon Dioxide Generation Rate	m3/s·W	0,0000000382	0,0000000382	0,0000000382	0,0000000382
Enable ASHRAE 55 Comfort Warnings		No	No	No	No
Mean Radiant Temperature Calculation Type		ZoneAveraged	ZoneAveraged	ZoneAveraged	ZoneAveraged
Surface Name/Angle Factor List Name					
Work Efficiency Schedule Name					
Clothing Insulation Calculation Method		ClothingInsulationSchedule	ClothingInsulationSchedule	ClothingInsulationSchedule	ClothingInsulationSchedule
Clothing Insulation Calculation Method Schedule Name					

Figura 4.15 Ocupación de las habitaciones.

5. OBTENCIÓN DE DATOS DEL MODELO IDEAL DE CLIMATIZACIÓN

Una vez que el modelo se encuentra completamente definido se procede a simularlo y se observan los resultados obtenidos. Se busca y se estudia la coherencia de estos resultados para clasificarlos y compararlos con los medidos en estas 4 habitaciones. Para ello se utiliza el programa Paraview con el que se pueden obtener gráficas de los tres meses a analizar: diciembre, enero y febrero.

Inicialmente se obtiene un modelo de temperaturas ideal donde se observa que se alcanza en un instante la temperatura deseada y donde se mantiene constante cuando se precisa la temperatura mínima, esto se debe a que el equipo está conectado durante todo el proceso y a que la habitación está prácticamente aislada. Figura 5.1

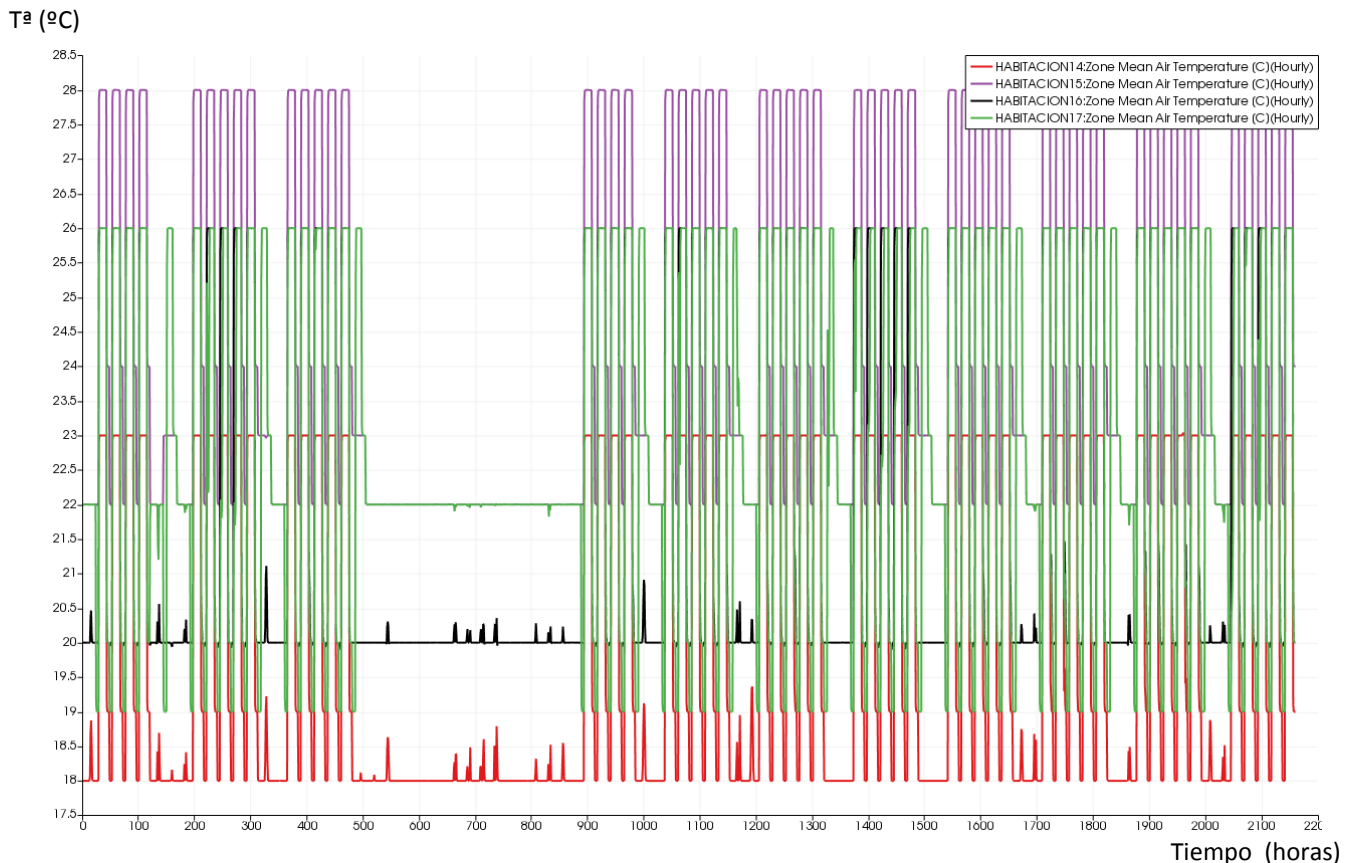


Figura 5.1 Simulación ideal con el equipo a pleno funcionamiento (temperatura en °C).

Se aprecia un modelo ideal donde hay cambios instantáneos de temperatura, es decir, se alcanza la temperatura necesaria en cada momento sin tener en cuenta la energía necesaria ni la eficiencia del sistema. Este proceso se encuentra muy alejado del real ya que estos cambios no son necesarios ni prácticos ya que la energía que se usa es desproporcionada. Figura 5.2.



	Total Energy [kWh]	Energy Per Total Building Area [kWh/m ²]	Energy Per Conditioned Building Area [kWh/m ²]
Total Site Energy	15213.96	43.19	58.52
Net Site Energy	15213.96	43.19	58.52
Total Source Energy	48182.62	136.78	185.32
Net Source Energy	48182.62	136.78	185.32

Figura 5.2 Energía de los equipos funcionando idealmente.

Se observa que el consumo en climatización para este tipo de laboratorios es excesivo y si se tiene en cuenta que los equipos funcionan constantemente se precisa un menor consumo por metro cuadrado. Por tanto se aprecia que la temperatura del aire aportado por los equipos es muy elevada. Figura 5.3.

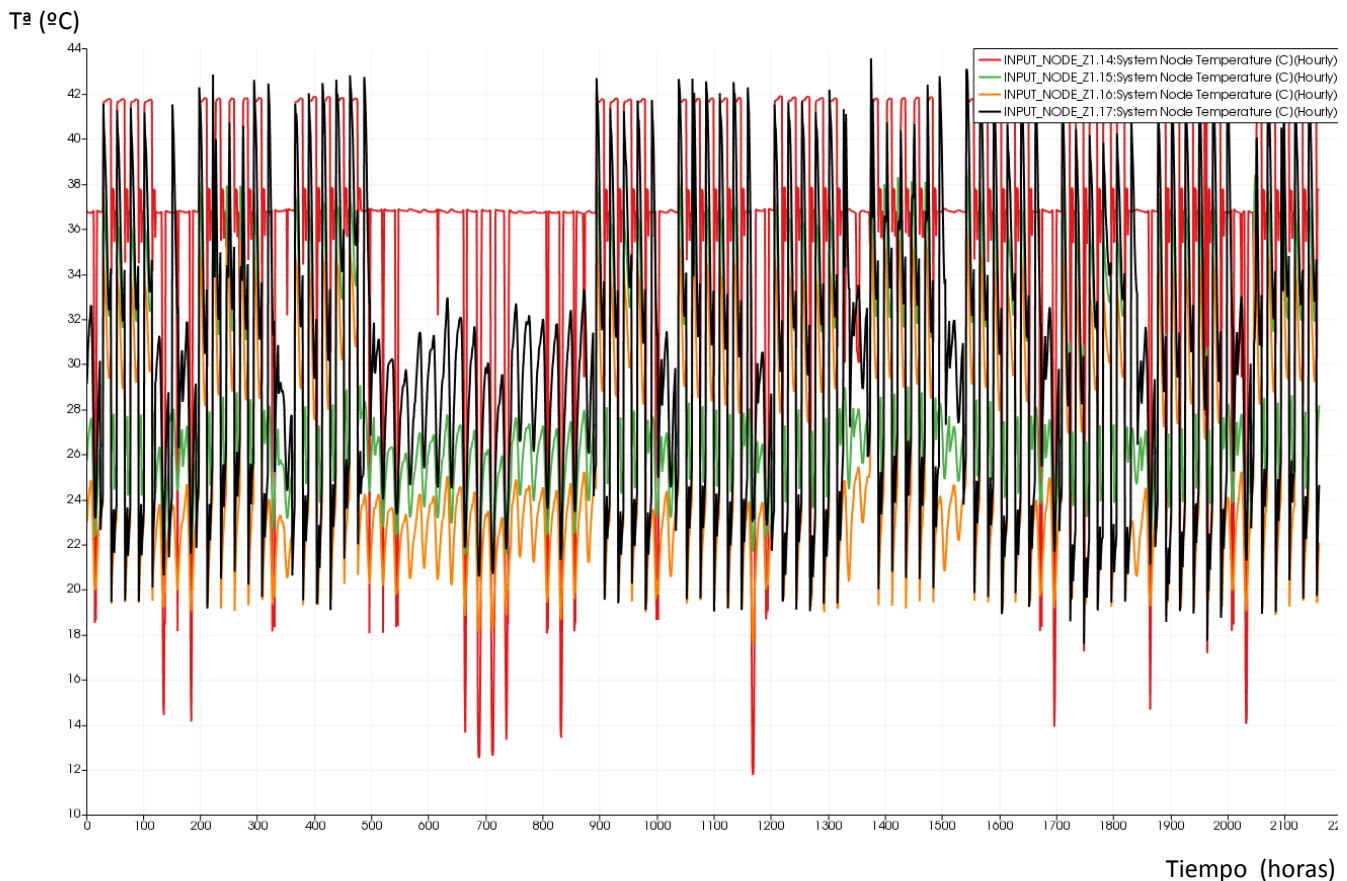


Figura 5.3 Temperatura del nodo de entrada en sistema ideal en °C.

Para ajustar el modelo a uno más parecido a la realidad se debe tener conectado el equipo únicamente cuando fue necesario en el laboratorio. Se deben tener en cuenta las infiltraciones y los intercambios de calor de forma que el sistema no esté totalmente aislado. Se aplican las temperaturas de consigna fijadas en cada momento por el personal de laboratorio y se regulan las potencias de los equipos.

Con estas indicaciones el sistema funciona de forma más progresiva disminuyendo los cambios bruscos de temperatura para los cuales no son necesarios unos consumos elevados de energía, para que sean factibles desde el punto de vista energético.

6. CLASIFICACIÓN DE DATOS REALES

Los datos se obtienen a través de sensores instalados en las habitaciones 14, 15,16 y 17. Por lo general se obtuvieron una decena de resultados a la hora durante varios meses pero para una mayor aproximación se recogió únicamente un dato cada hora a fin de poder obtener las variaciones adecuadas para ajustarlas con el modelo. Los datos se clasificaron y ordenaron de la web del proyecto Pleiades Infraestructuras de la UMU donde se encuentran los datos medidos en dichos laboratorios. [21]

- Habitación 14: Se ha medido CO₂ y temperatura. Figuras 6.1 y 6.2
- Habitación 15: Se ha medido CO₂ y temperatura. Figuras 6.3 y 6.4
- Habitación 16: Se ha medido CO₂, temperatura, iluminación y humedad. Figuras 6.5 - 6.8
- Habitación 17: Se ha medido CO₂, temperatura, iluminación y humedad. Figuras 6.9 - 6.12

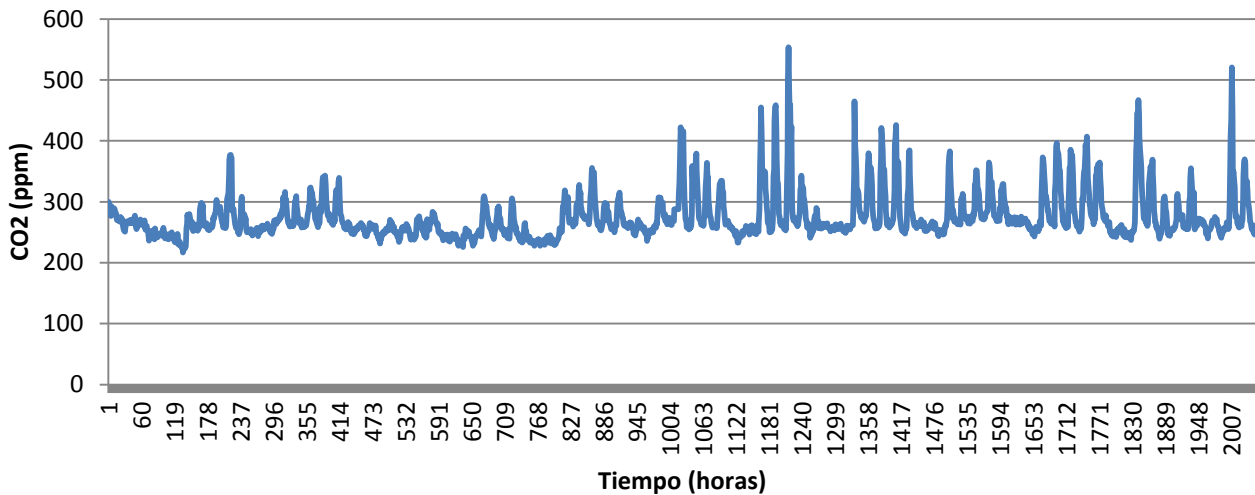


Figura 6.1 CO₂ real de la habitación 14 en ppm.

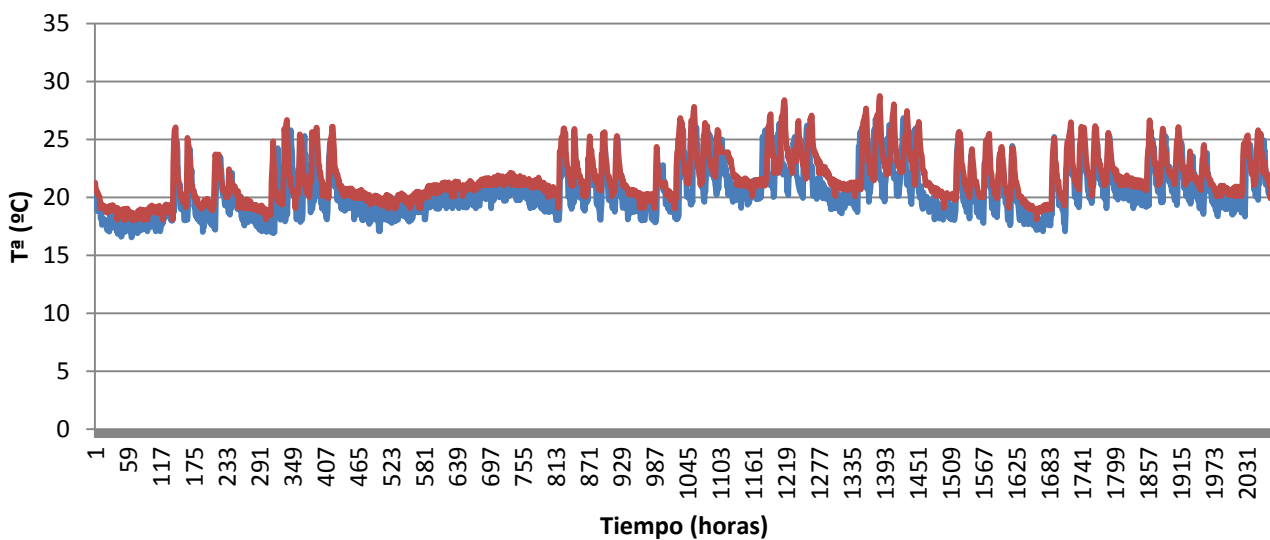


Figura 6.2 Temperatura de la habitación 14 en °C Sensor derecho (azul) y sensor izquierdo (rojo).

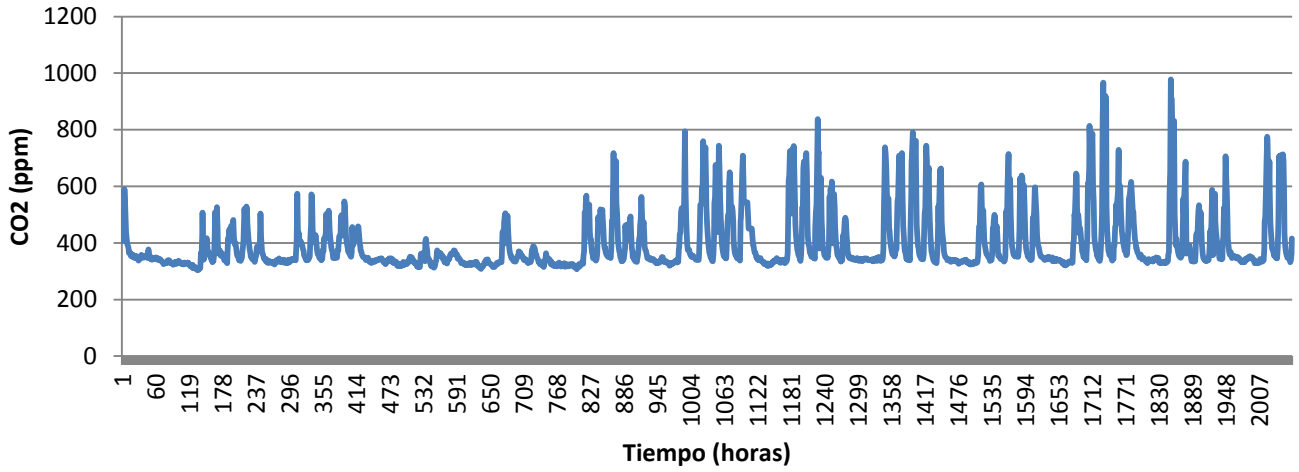


Figura 6.3 CO₂ real de la habitación 15 en ppm.

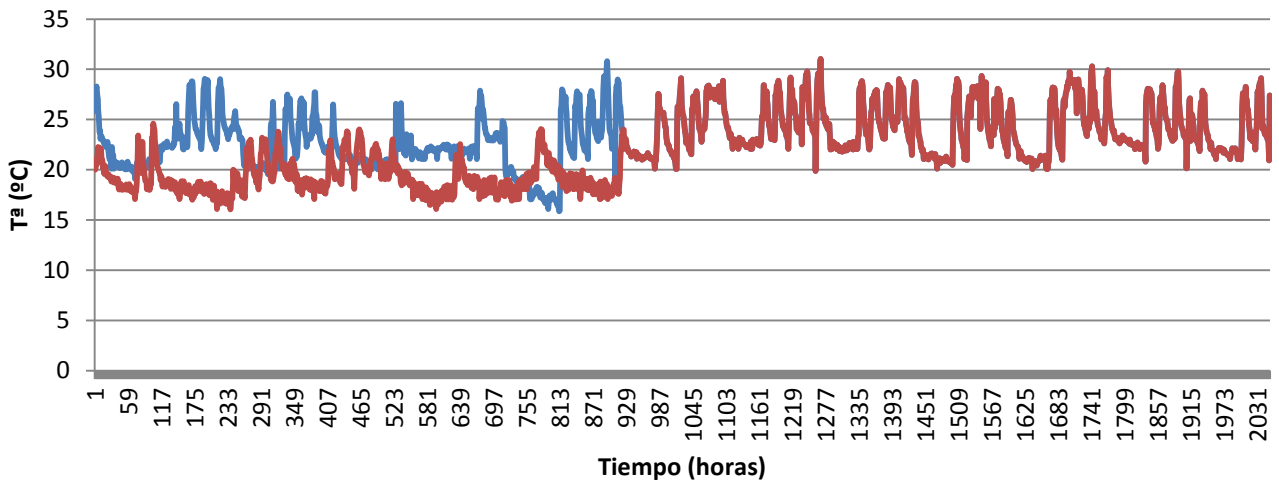


Figura 6.4 Temperatura de la habitación 15 en °C Sensor derecho (azul) y sensor izquierdo (rojo).

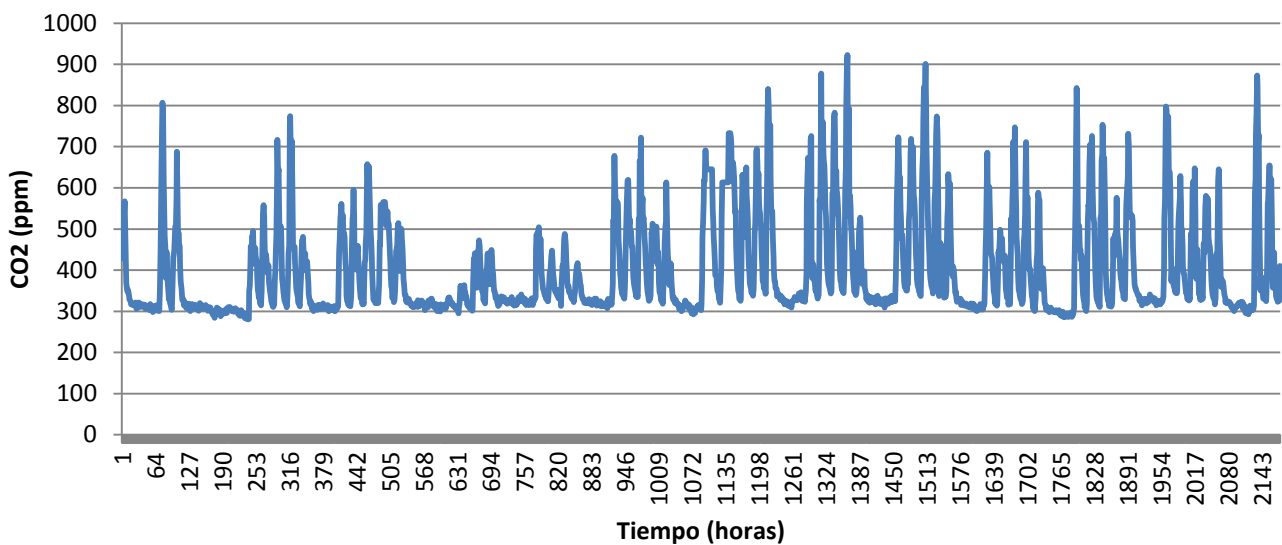


Figura 6.5 CO₂ real de la habitación 16 en ppm.

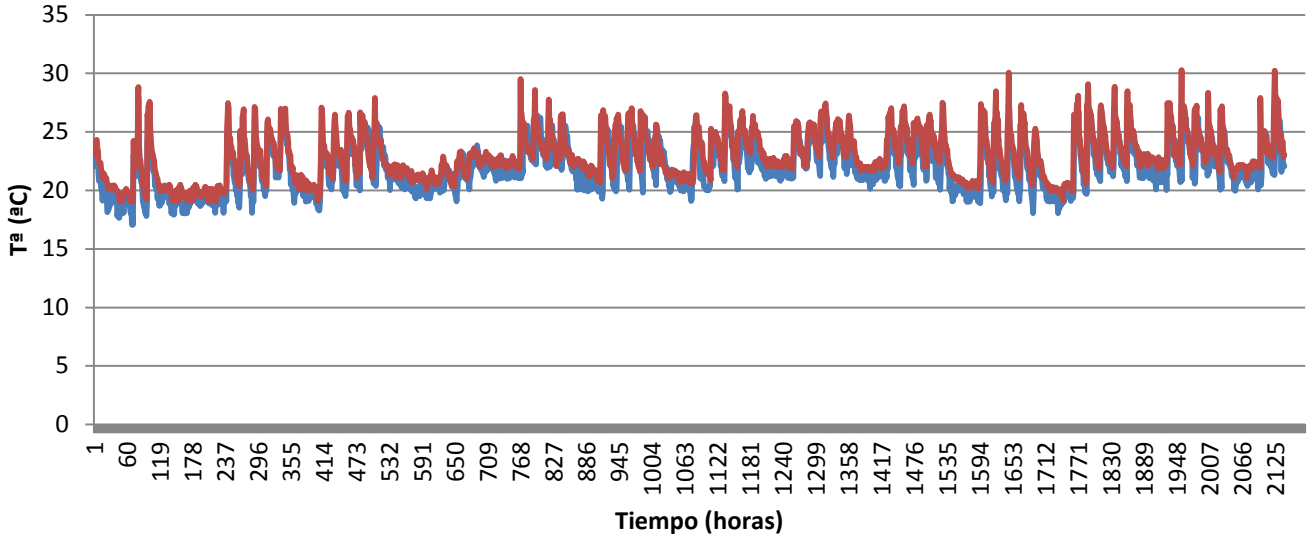


Figura 6.6 Temperatura de la habitación 16 en °C Sensor derecho (azul) y sensor izquierdo (rojo).

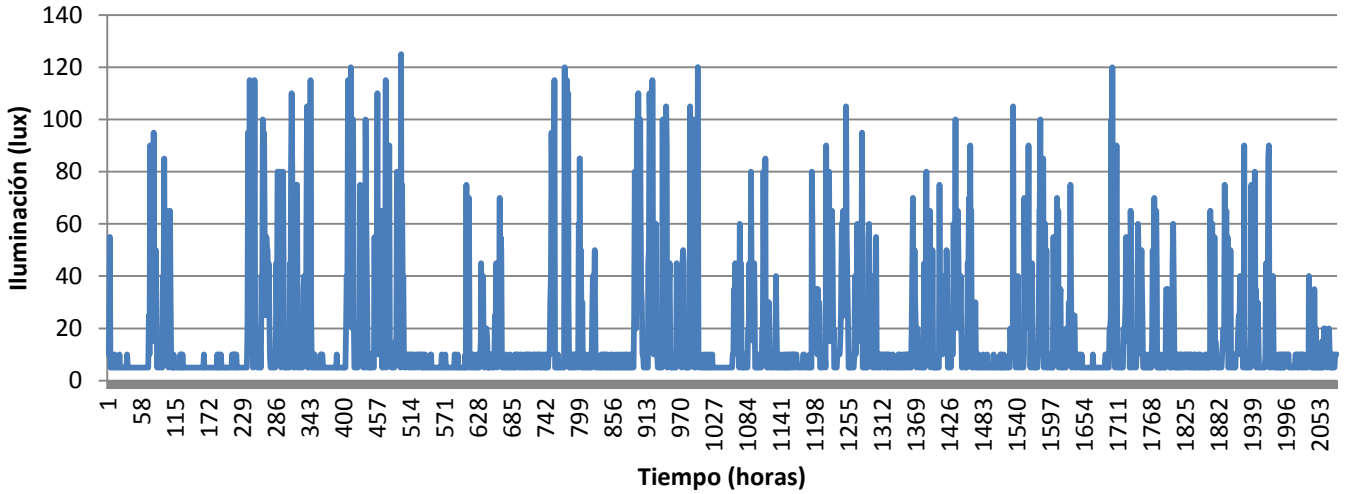


Figura 6.7 Iluminación de la habitación 16 en lux.

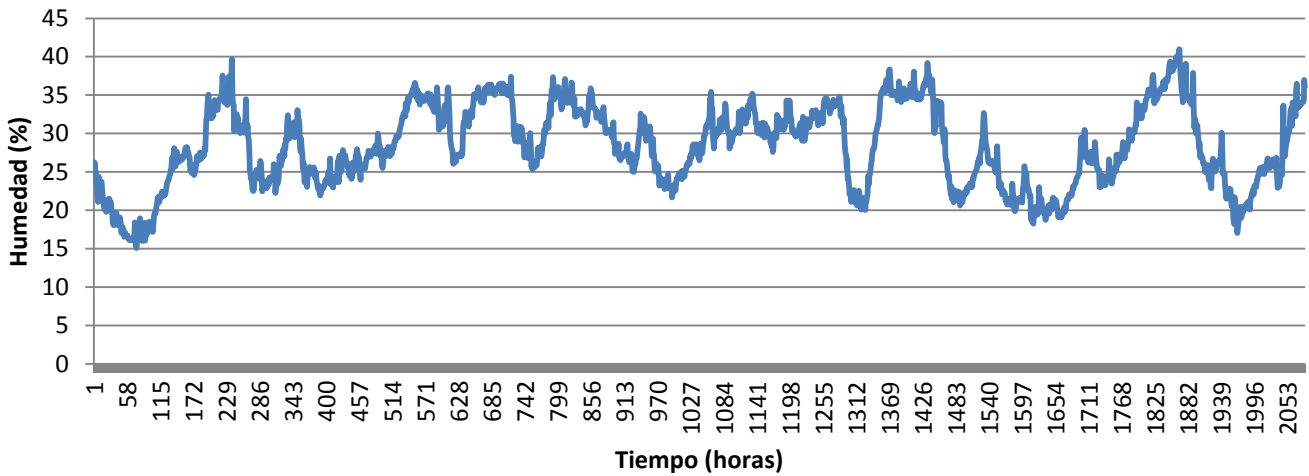


Figura 6.8 Humedad relativa de la habitación 16 en %.

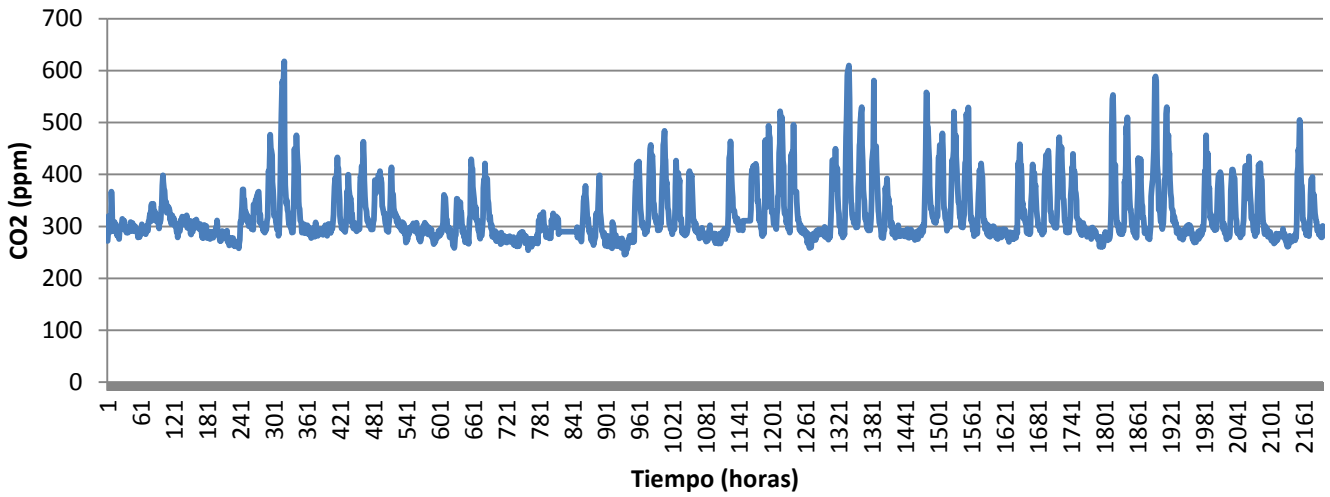


Figura 6.9 CO₂ real de la habitación 17 en ppm.

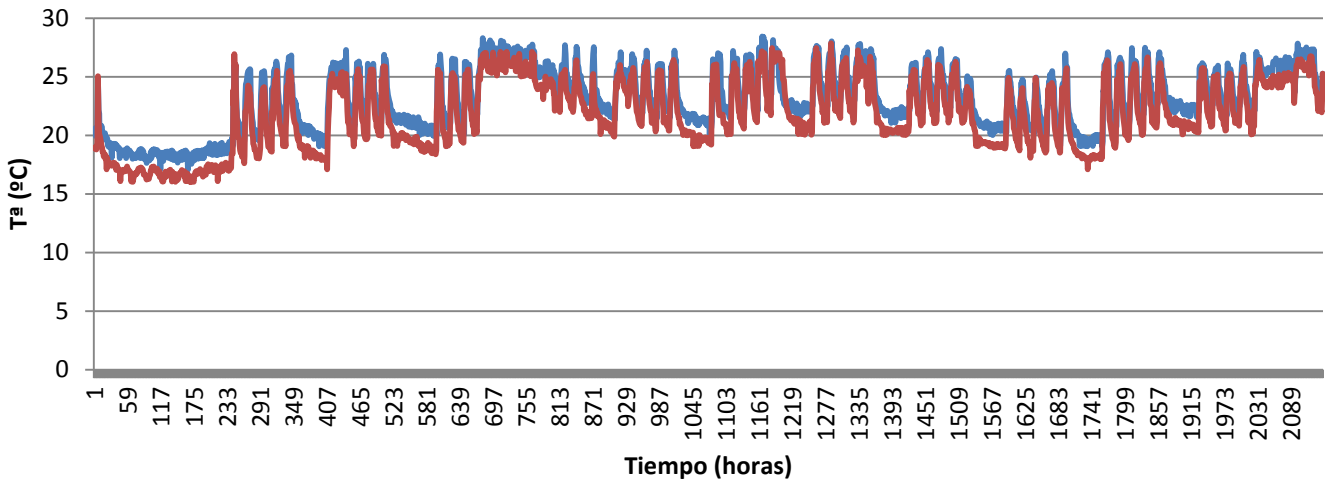


Figura 6.10 Temperatura de la habitación 17 en °C Sensor derecho (azul) y sensor izquierdo (rojo).

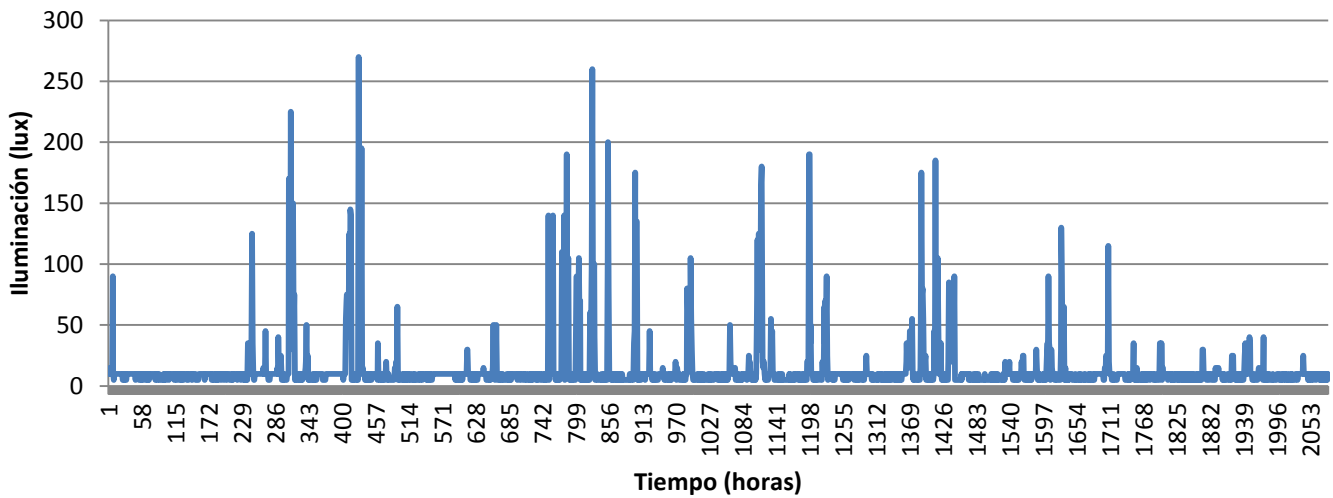


Figura 6.11 Iluminación de la habitación 17 en lux.

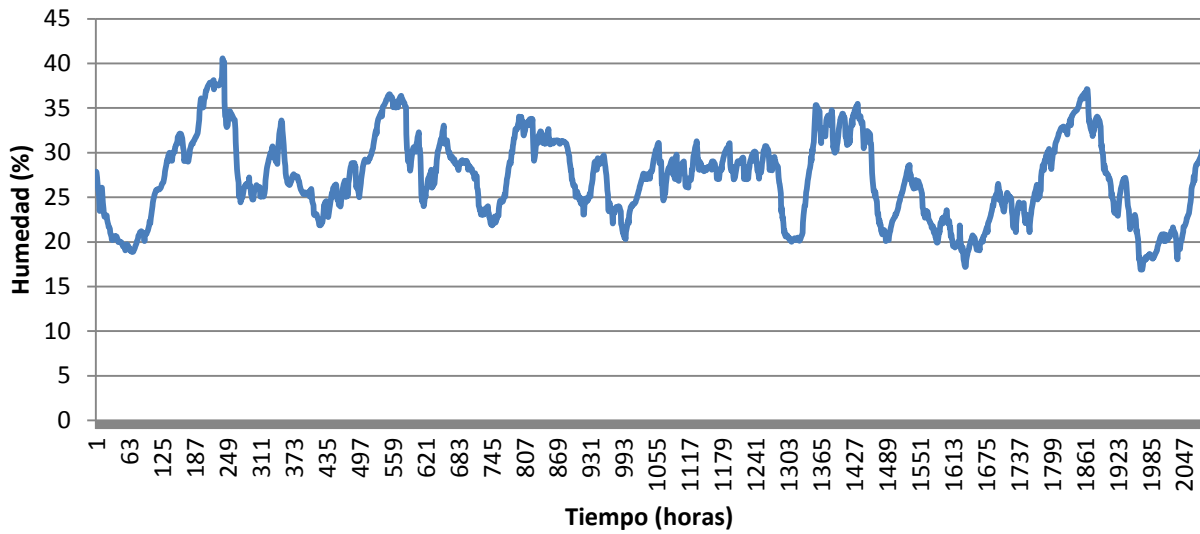


Figura 6.12 Humedad relativa de la habitación 17 en %.

Se observa que los datos de las habitaciones son coherentes y están correctamente medidos.

En el caso de las temperaturas a veces se encuentran elevadas debido a que el procesador del medidor se calienta debido a que está continuamente funcionando. La variación es de varios grados y por tanto esto se ha tenido en cuenta a la hora de comparar con los resultados del modelo.

Siendo la diferencia en °C de cada sensor (medido con sonda de temperatura Figura 6.13) de:



Figura 6.13 Sonda para calibrar los sensores de temperatura.

- Habitación 14: Sonda: 22,8 Sensor: 25,5
- Habitación 15: Sonda: 23,2 Sensor: 23,3 Se puede suponer que está bien calibrado
- Habitación 16: Sonda: 23,5 Sensor: 25,5
- Habitación 17: Sonda izq.: 24 Sensor izq.: 24,3 Sonda drcha.: 23,3 Sensor drcha.: 23



Por tanto, se hace la media de los sensores izquierdo y derecho y se corrige la temperatura.
Figuras 6.14, 6.15, 6.16 y 6.17

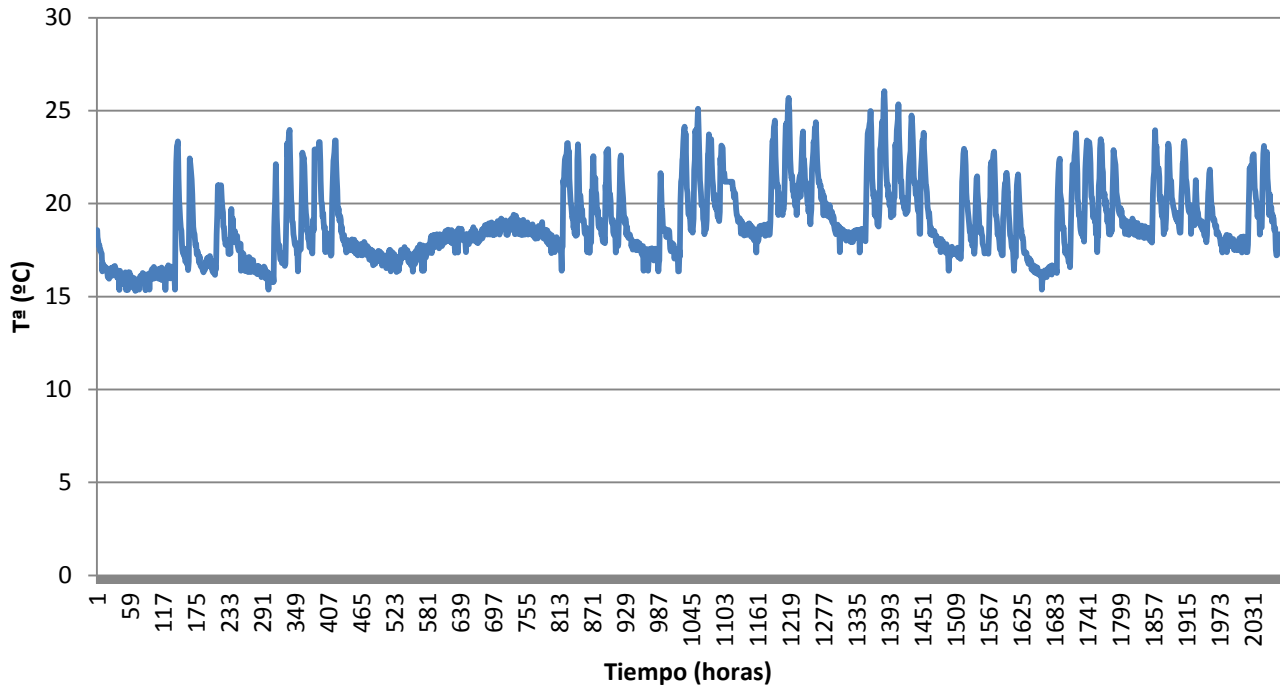


Figura 6.14 Temperatura en °C de la habitación 14 calibrada.

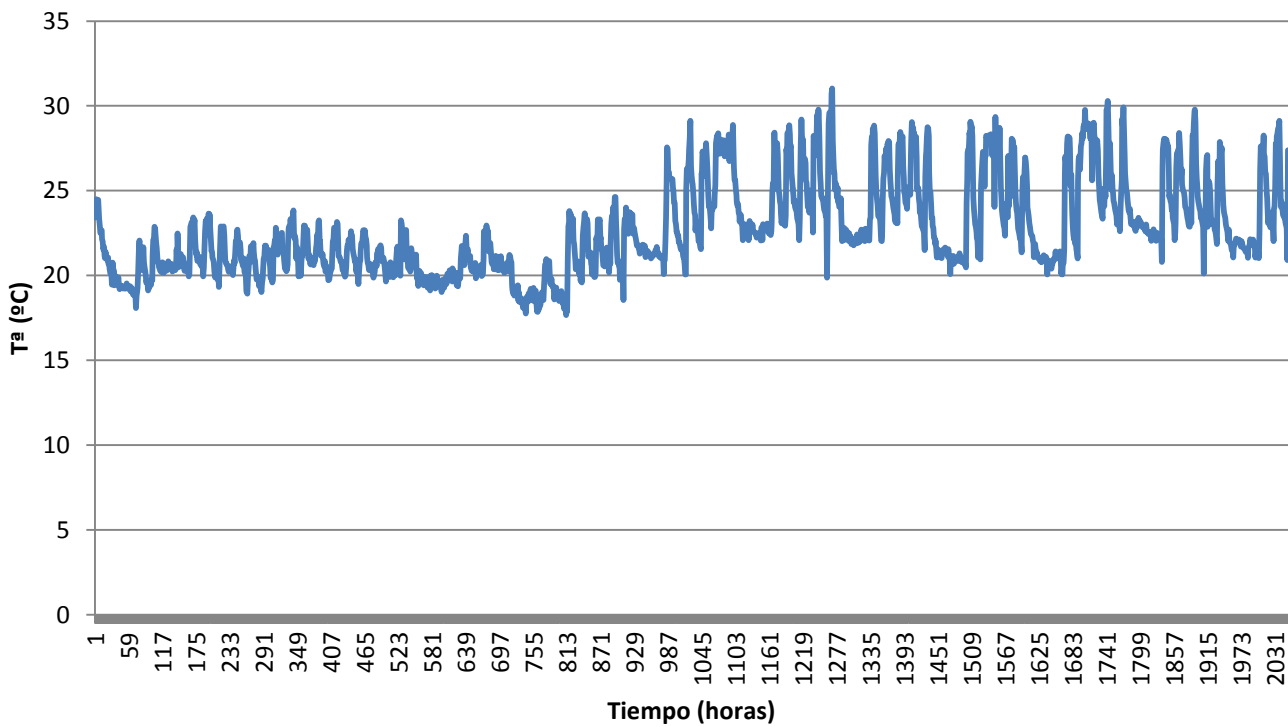


Figura 6.15 Temperatura en °C de la habitación 15 calibrada.

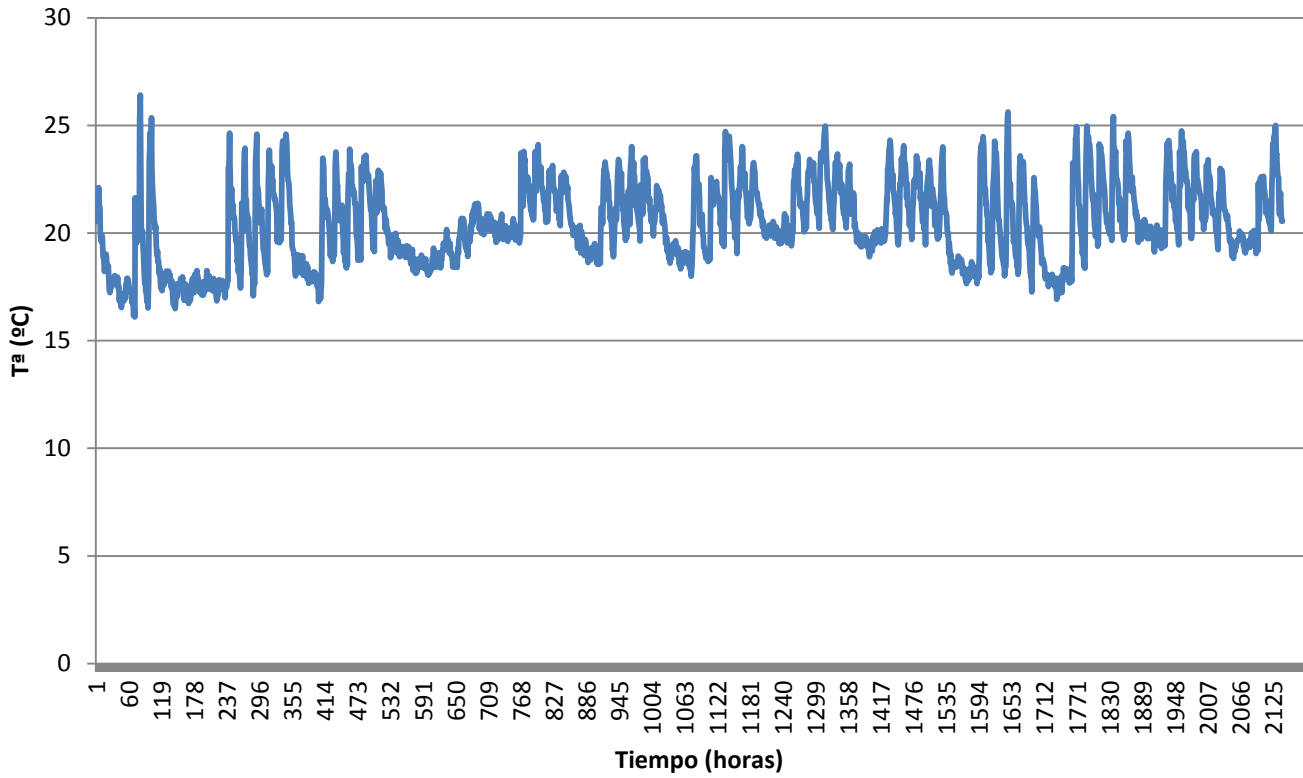


Figura 6.16 Temperatura en °C de la habitación 16 calibrada.

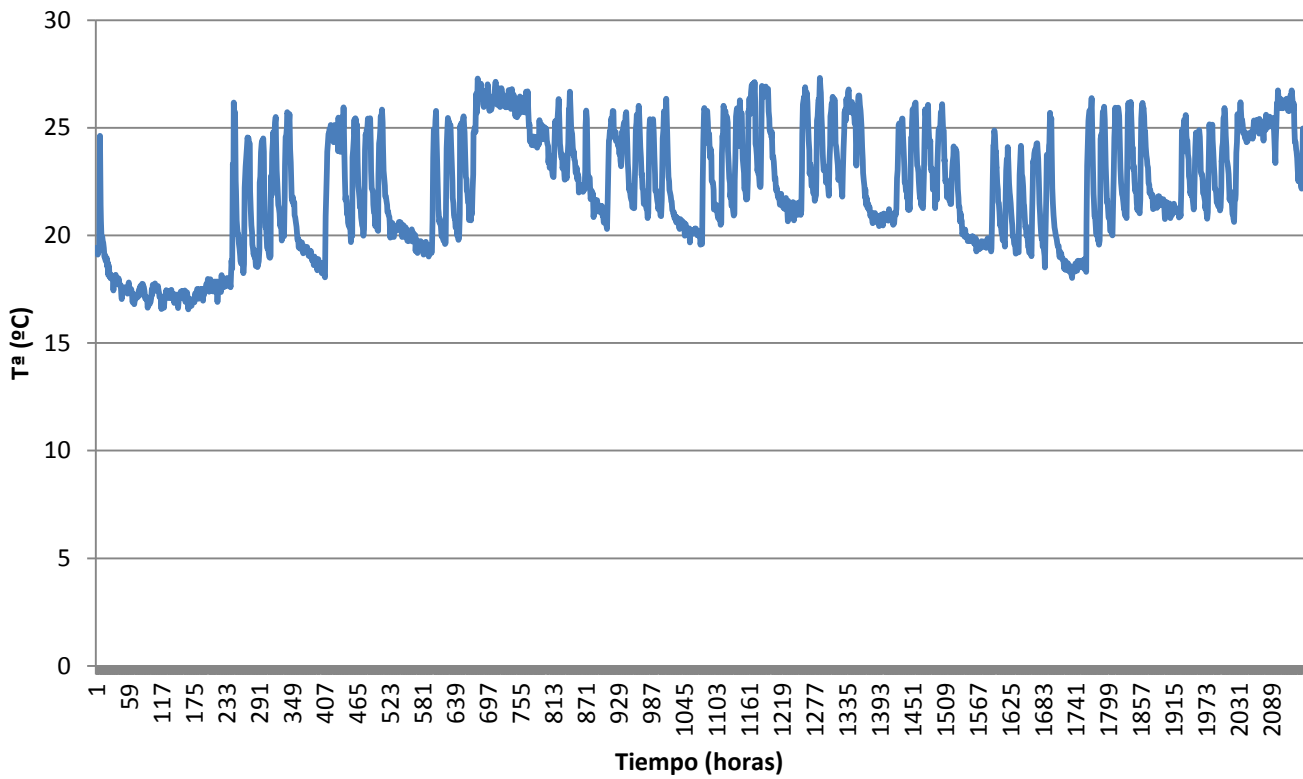


Figura 6.17 Temperatura en °C de la habitación 17 calibrada.

Además, se mide en cada habitación si la máquina se encontraba funcionando en dicho momento y la temperatura de consigna fijada. Con esto se puede deducir la demanda que fue necesaria en cada momento y observar como varían los datos medidos cuando está funcionando el equipo. Figura 6.18

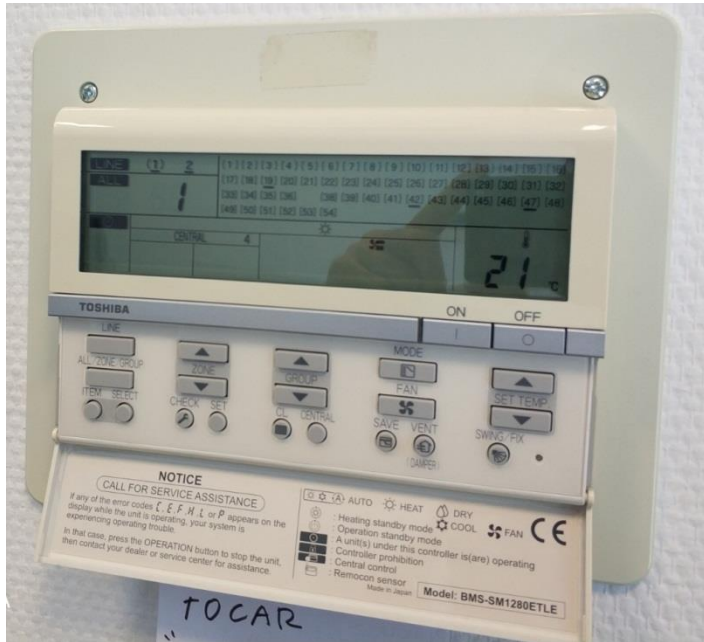


Figura 6.18 Consola para regular la temperatura del edificio.

Esta consola se encarga de controlar la temperatura de consigna de cada habitación del edificio y de ella se extraen los datos necesarios.

A continuación se introducen los datos reales de marcha/para y temperatura de consigna en el modelo de forma que cuando la máquina se encuentra parada el valor de consigna es nulo y cuando está funcionando el valor de consigna es el indicado.

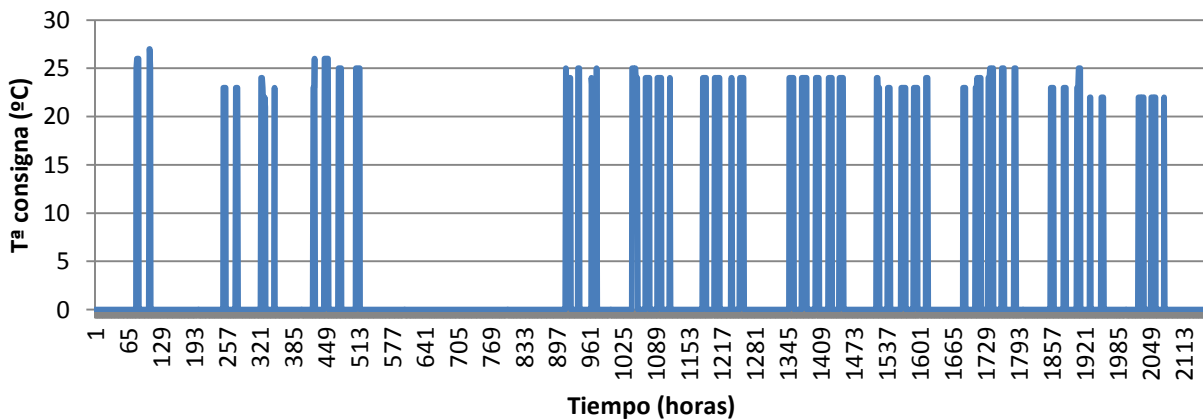


Figura 6.19 Temperatura de consigna en °C de la habitación 14.

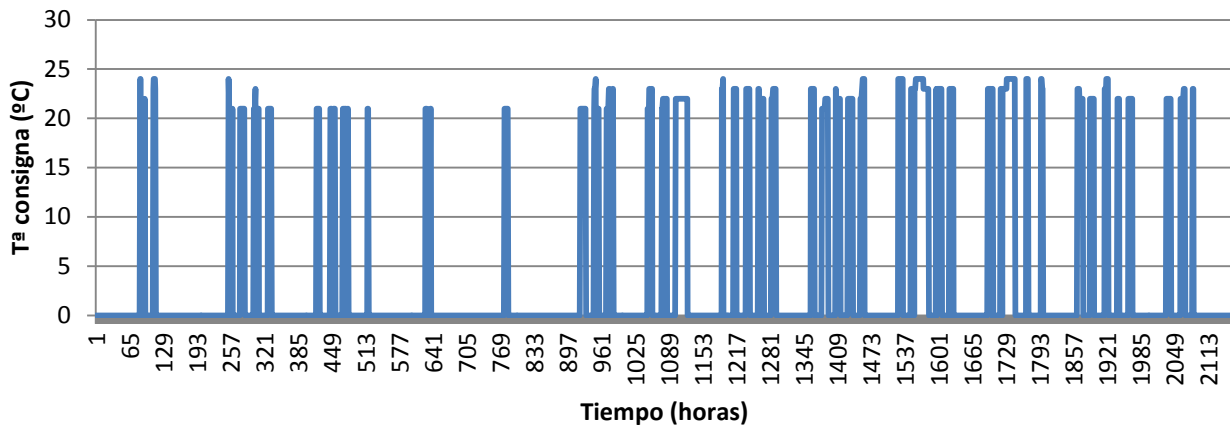


Figura 6.20 Temperatura de consigna en °C de la habitación 15.

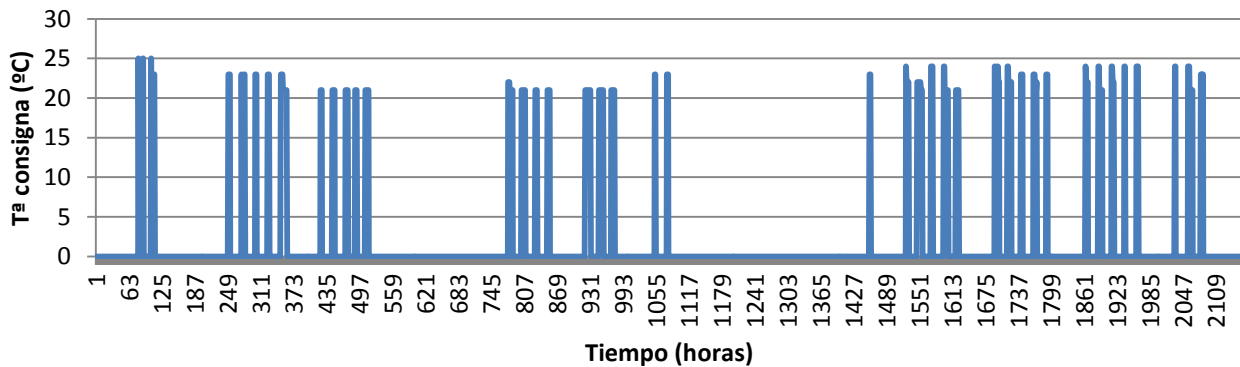


Figura 6.21 Temperatura de consigna en °C de la habitación 16.

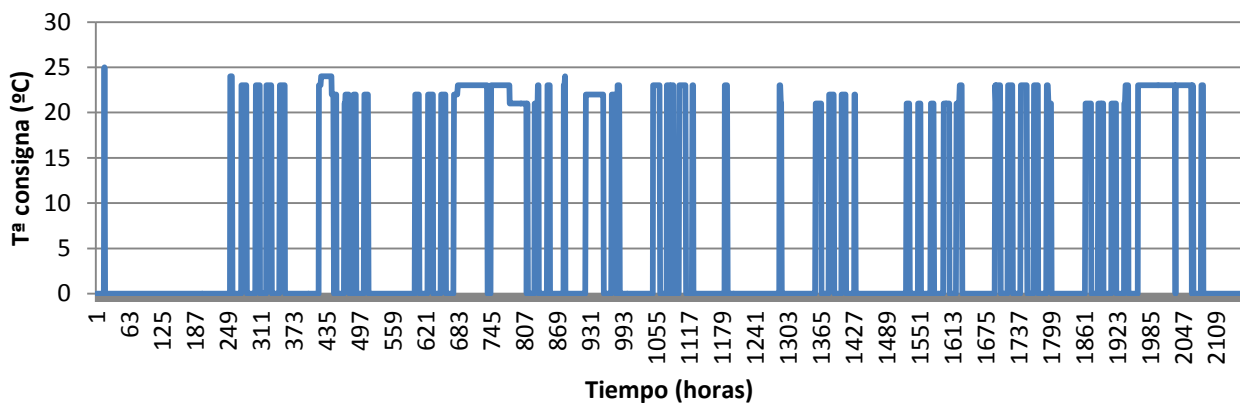


Figura 6.22 Temperatura de consigna en °C de la habitación 17.

La habitación 17 es la habitación que más ha estado en funcionamiento por tanto se puede observar que el equipo es el que más veces se ha puesto en marcha.

Se añaden también los valores de temperatura externa de estos tres meses (Diciembre, Enero y Febrero) en Murcia con el fin de aproximar al máximo la simulación. [22]

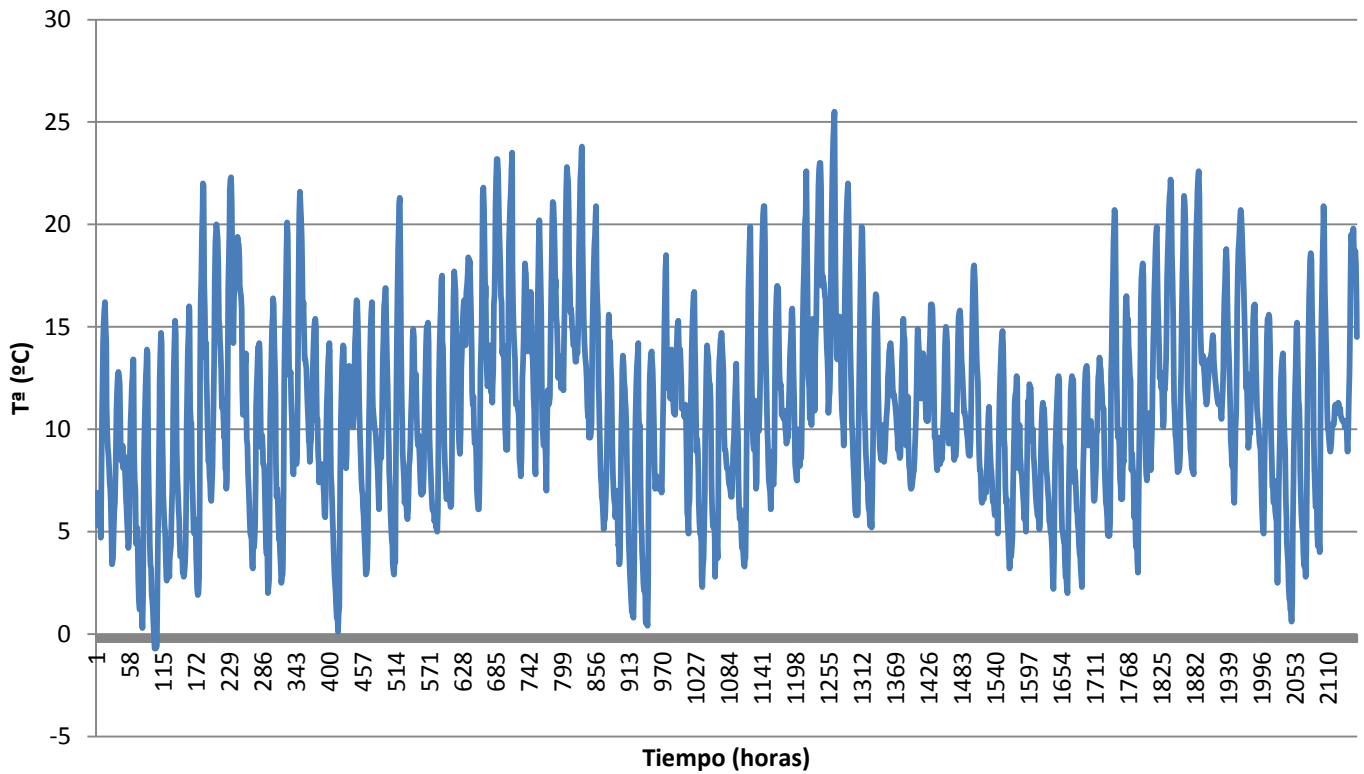


Figura 6.23 Temperatura en Murcia en los meses de Diciembre, Enero y Febrero.

En el modelo se sabe que la carga térmica del edificio es mucho menor que en la realidad puesto que en el edificio completo se mantiene una temperatura y hace que los laboratorios no reciban el impacto del ambiente directamente. Para solucionar este problema se establece una temperatura constante en los pasillos 12 y 13 con el fin de que se represente esa carga térmica de conservación del calor del edificio.



7. OBTENCIÓN DE DATOS DEL MODELO REAL Y COMPARACIÓN CON DATOS REALES

Una vez se han añadido los valores reales de temperatura, las temperaturas de consignas, las horas de operación de los equipos y el resto de valores medidos. Se trata de comprobar si los datos reales se ajustan a los que nos proporciona el modelo.

Para ello se analiza con exactitud en cada habitación tres semanas intermedias en la simulación. Siendo la línea marrón la temperatura simulada y la lila la temperatura real. Se ha escogido por ejemplo desde el 29 de enero al 18 de febrero. Figuras 7.1, 7.2, 7.3 y 7.4.

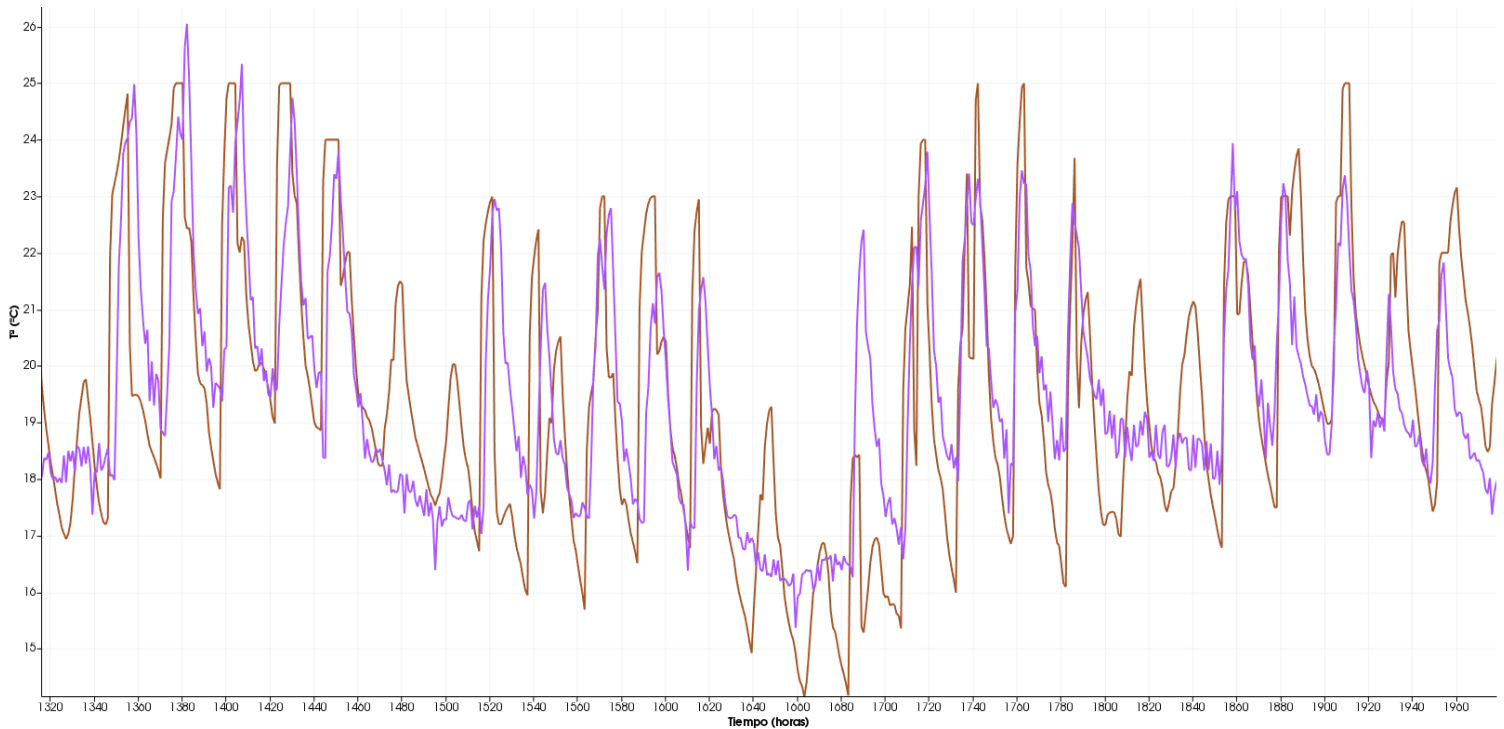


Figura 7.1. Representación ampliada de temperaturas de la habitación 14.

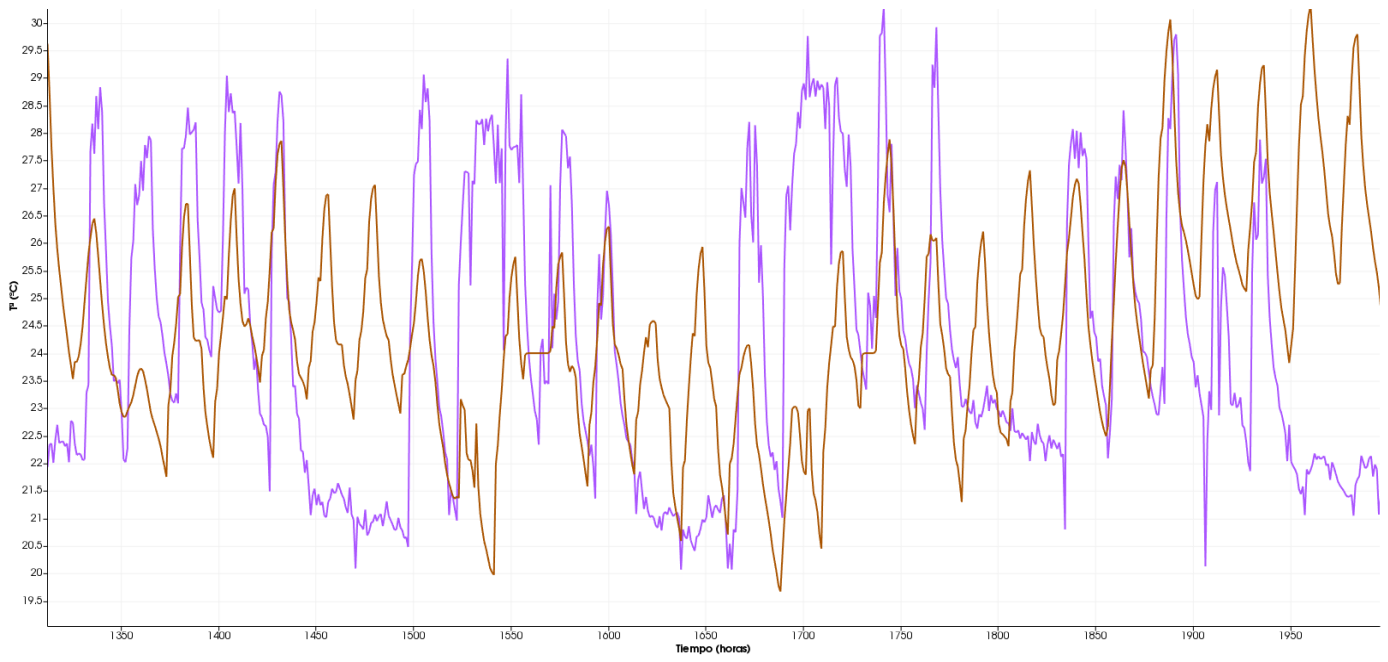


Figura 7.2. Representación ampliada de temperaturas de la habitación 15.

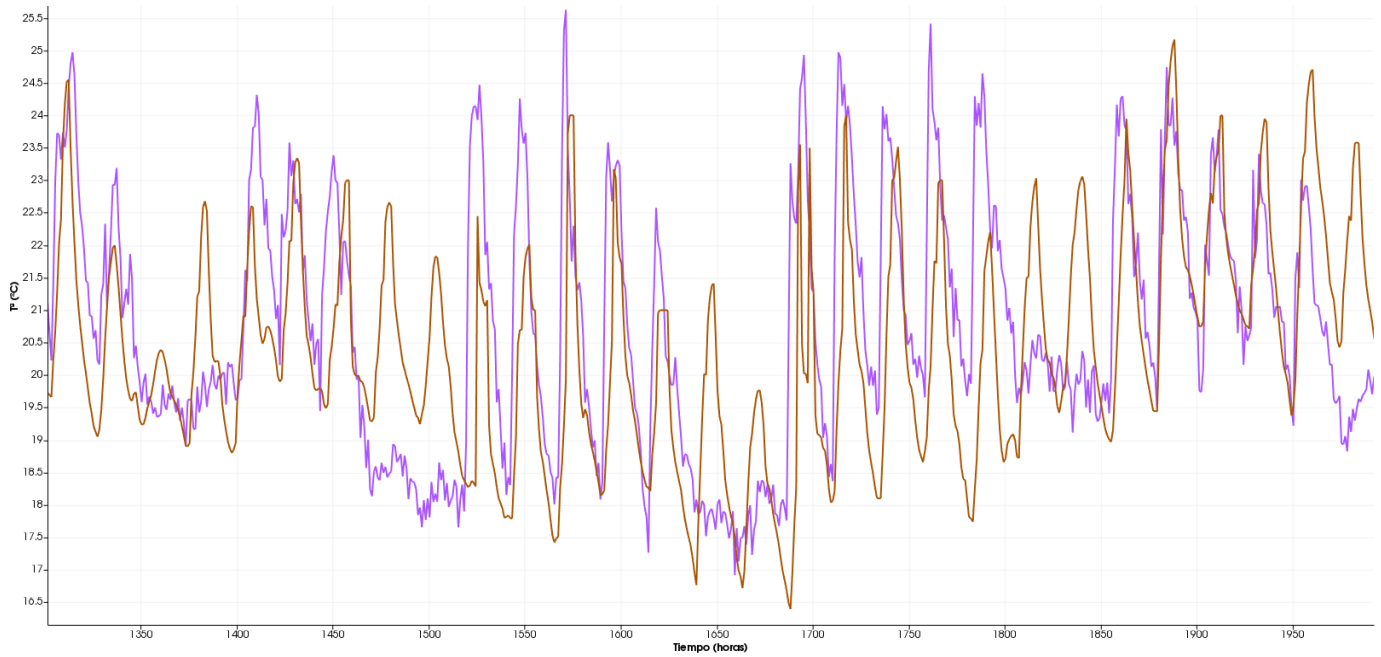


Figura 7.3. Representación ampliada de temperaturas de la habitación 16.

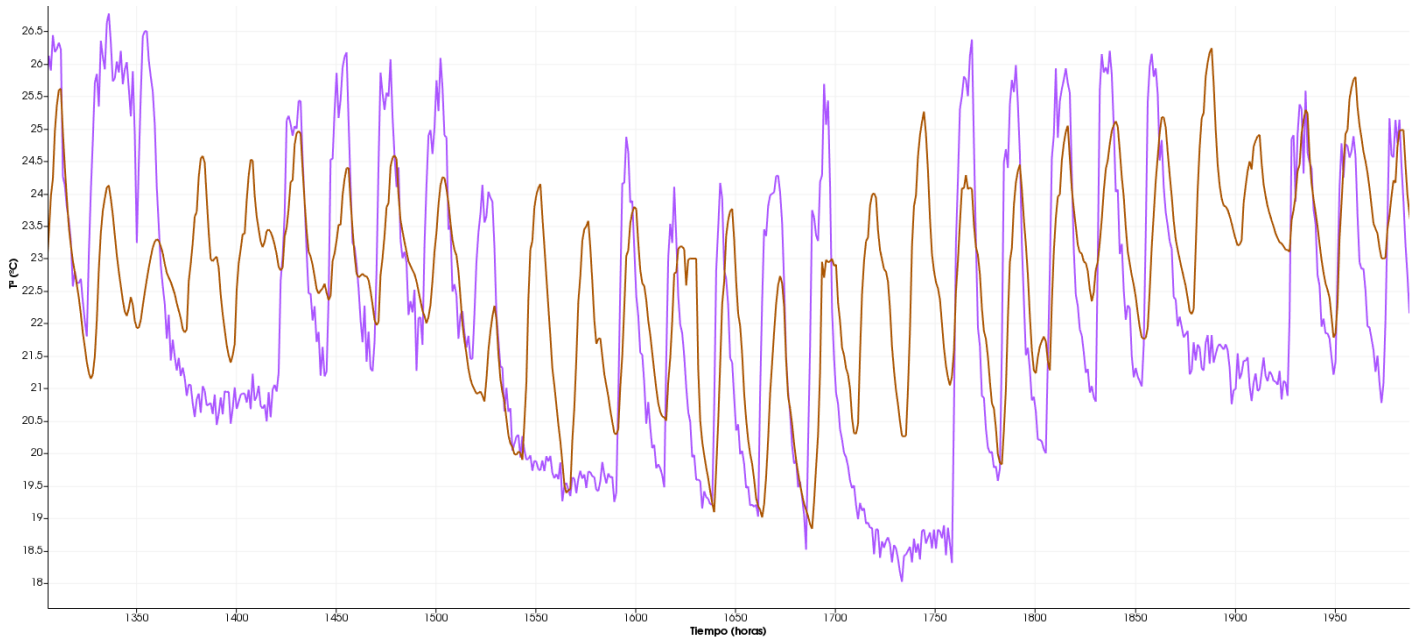


Figura 7.4. Representación ampliada de temperaturas de la habitación 17.

Se considera que la habitación 15 no tiene los datos correctamente medidos debido a que hay mucha variación entre los días alcanzando temperaturas de 30°C. Posteriormente se observó que uno de los sensores había estado midiendo mal estos meses. Se ha conseguido llegar a esta conclusión en parte con ayuda del modelo ya que no se consiguió ajustar la temperatura de esa habitación lo cual llevó a la sospecha de que había un fallo. Por tanto aunque se simulará esta habitación no se utilizarán los datos de temperatura medidos y se tendrán en cuenta los datos del modelo.

Los datos se ajustan en cuanto a rangos de temperatura pero no reflejan en su totalidad la carga térmica del edificio, ya que aunque son similares entre los días laborales difieren los fines de semana. Por tanto se decide introducir una modificación que consiga que la temperatura se conserve en mayor medida y haya menor intercambio con el exterior durante los fines de semana que consiste en simular en la geometría el retranqueo de las ventanas. Por lo general en este tipo de modelado esto se consigue mediante unos pequeños toldos en cada ventana de forma que la simulación de temperaturas resulta. Figuras 7.5, 7.6 y 7.7

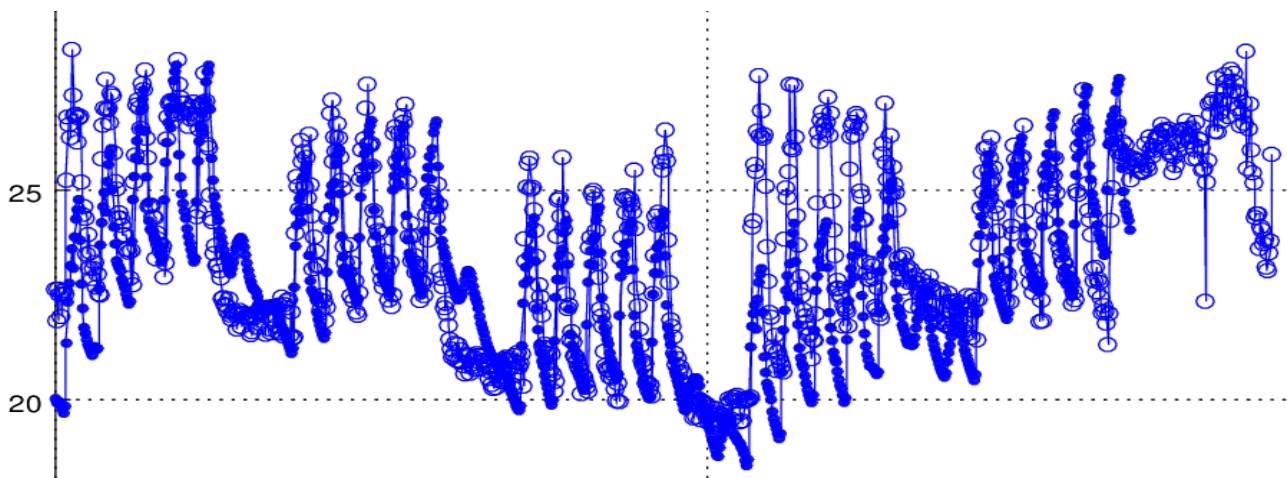


Figura 7.5. Representación de temperaturas de la habitación 14 con la carga del edificio.

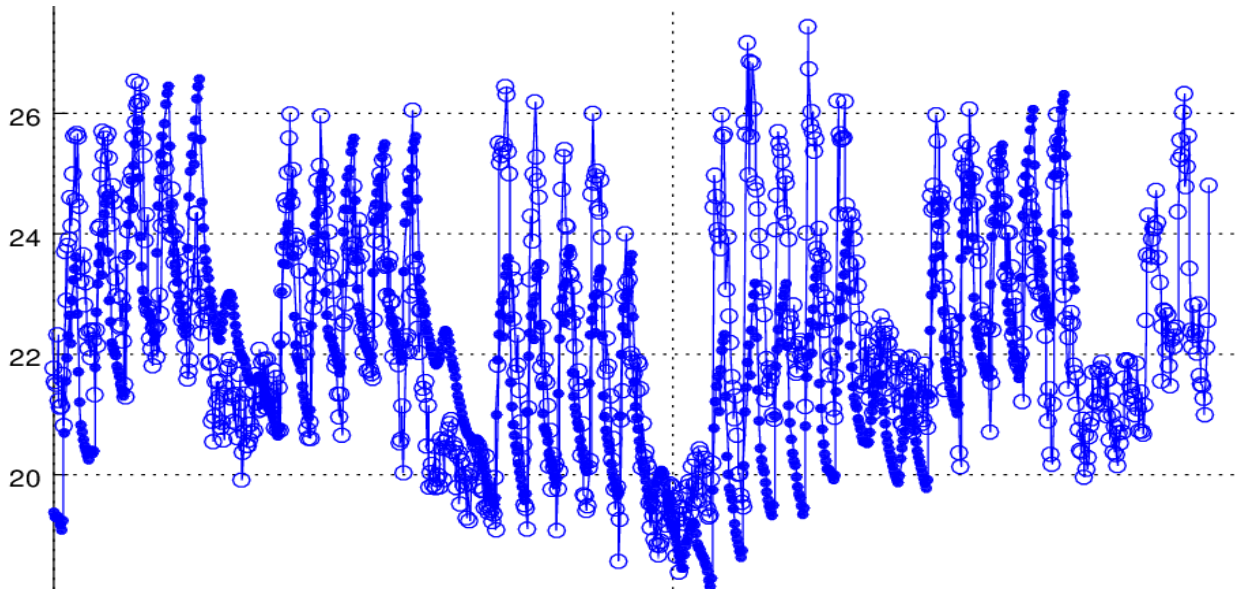


Figura 7.6. Representación de temperaturas de la habitación 16 con la carga del edificio.

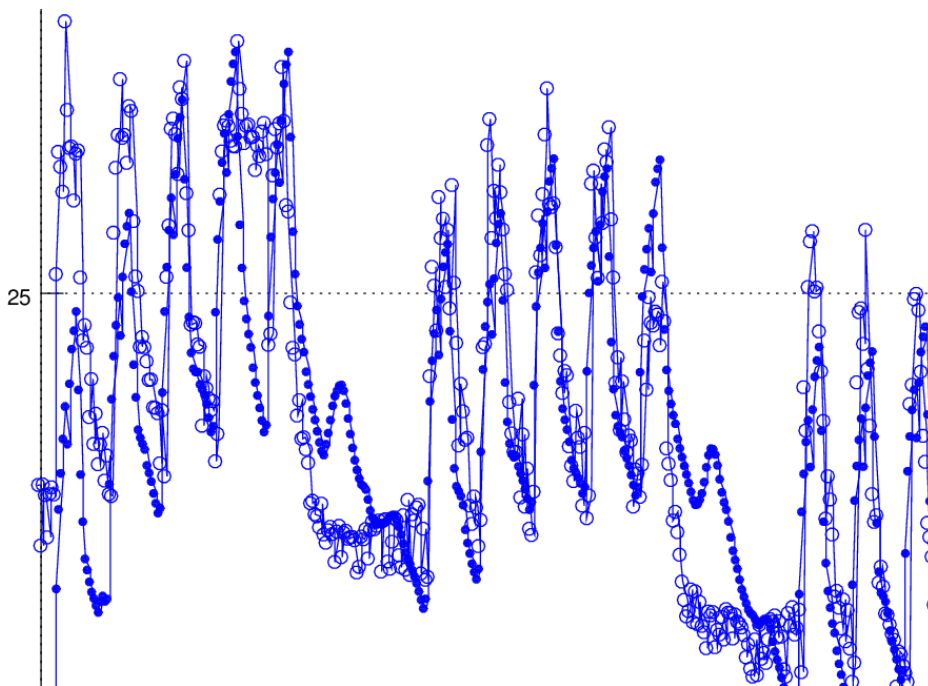


Figura 7.7. Representación ampliada de temperaturas de la habitación 17 con la carga del edificio.

Una vez se observa que los datos de temperatura del modelo coinciden aproximadamente con los reales se procede a representar la temperatura por días de cada habitación. Figuras 7.8, 7.9 y 7.10. Siendo la línea de tendencia roja la del modelo y la negra la real.

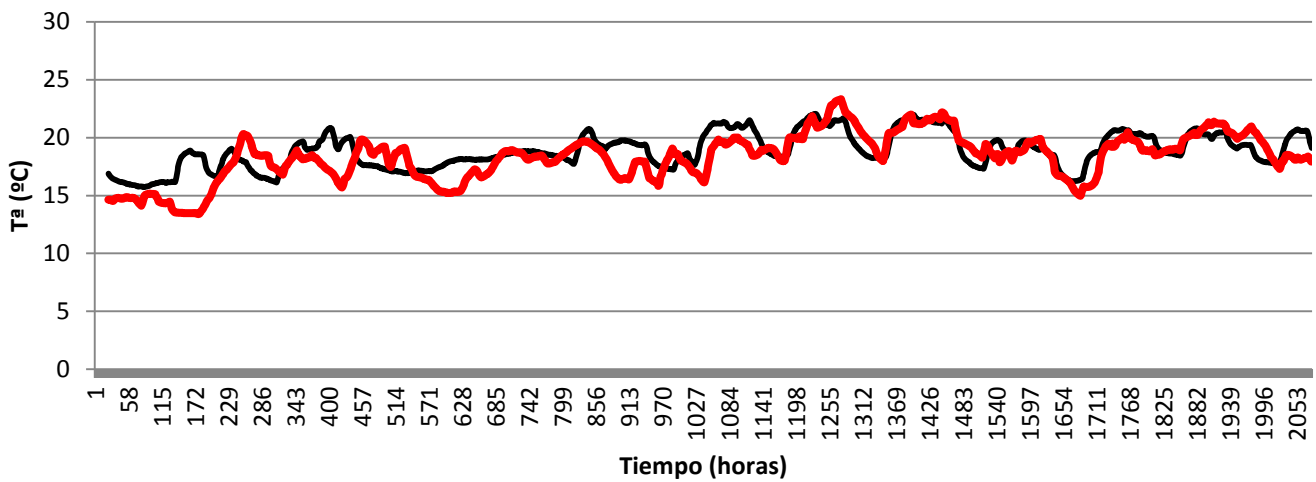


Figura 7.8. Representación de temperaturas medias diarias de la habitación 14.

Como se ha mencionado antes la temperatura real no se midió correctamente por tanto en esta habitación 15 no se realizan comparativas con la que nos proporciona el modelo. Gracias a esto se pudo localizar el fallo y detectar los sensores que estaban midiendo mal y con el resto de habitaciones simular la temperatura que hubo en la habitación con el modelo global.

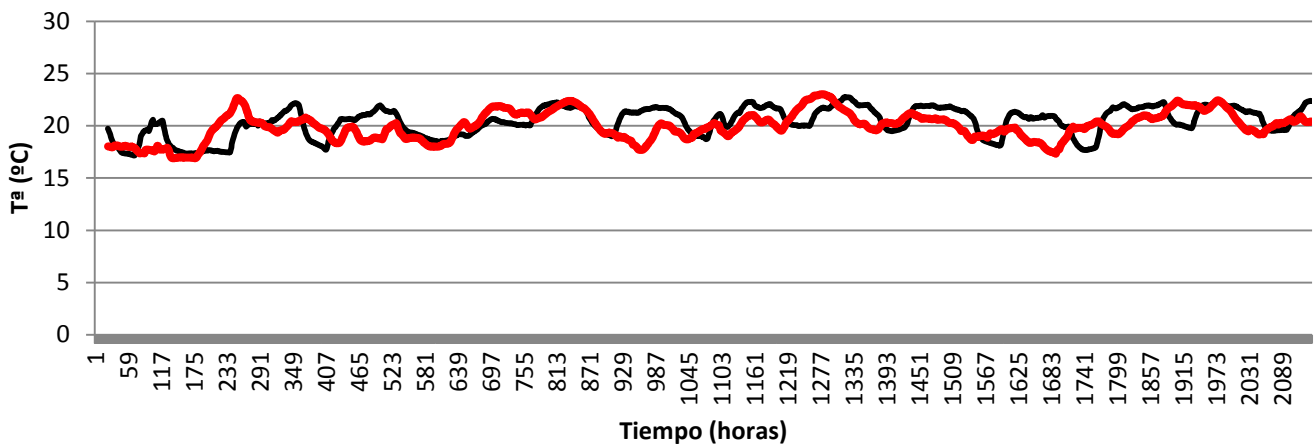


Figura 7.6. Representación de temperaturas medias diarias de la habitación 16.

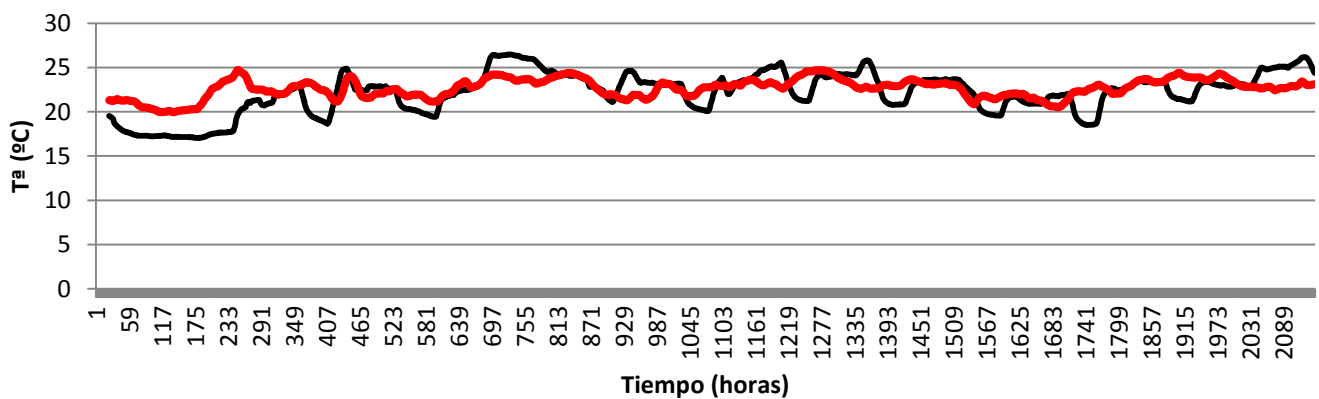


Figura 7.7. Representación de temperaturas medias diarias de la habitación 17.



Como se observa el modelo se ajusta bastante bien a la temperatura medida en las habitaciones 14, 16 y 17. Por lo que se puede decir que gracias a los datos tomados se ha conseguido simular con cierta exactitud una parte del edificio sin necesidad de conocer por completo el mismo. Para que la simulación hubiese sido perfecta, es decir, que se hubiera mantenido constante la temperatura en los fines de semana, se necesitarían además datos de masa térmica del edificio en cada momento lo cual resulta casi imposible de medir teniendo en cuenta que el edificio es muy grande. Por lo cual se acepta como válido el modelo a la hora de calcular los consumos, energías y posibles mejoras.

8. VALORES PROPORCIONADOS POR EL MODELO REAL

Una vez que se ha asumido que el modelo es válido se proceden a obtener los datos de energía del mismo para analizar la demanda y los consumos de los equipos utilizados.

En primer lugar se recogen en resumen los datos geométricos utilizados para hacernos una idea del dimensionado de la instalación.

	Area [m ²]	Conditioned (Y/N)	Volume [m ³]	Multipliers	Above Ground Gross Wall Area [m ²]	Window Glass Area [m ²]	Opening Area [m ²]	People [m ² per person]	Plug and Process [W/m ²]
HABITACION14	53.78	Yes	167.25	1.00	18.68	2.27	2.27	17.93	7.0000
HABITACION17	100.49	Yes	312.52	1.00	36.75	6.00	6.00	25.12	37.0000
HABITACION15	52.86	Yes	164.41	1.00	18.35	4.12	4.12	17.62	24.0000
HABITACION16	52.86	Yes	164.41	1.00	18.35	4.12	4.12	17.62	15.0000

Se observan aproximadamente 250 m² acondicionados donde funcionarán a modo de oficinas y de uso terciario lo que significa que, aunque están acondicionados los equipos solo funcionarán unas pocas horas al día. Esto implica que el consumo debe de ser menor que el de una vivienda, pero bastante significativo debido a que hay gran cantidad de aparatos electrónicos. Además la geometría de los laboratorios y la reducida superficie de ventanas ayudan a la conservación del calor por lo que en el período simulado la energía para climatización debe ser la adecuada.



8.1 CONSUMO, DEMANDA Y ELECTRICIDAD POR m²

La primera tabla refleja el consumo de los tres meses analizados de los laboratorios que es de 8653.98 kWh. Este a su vez está dividido en dos partes fundamentales. El calor aportado por el equipo de climatización 1542.24 kWh y los equipos interiores 6979.88 kWh. Dentro de los equipos interiores se hace referencia no solo a los ordenadores y al material de oficina sino a otros elementos como sensores e iluminación, es decir, cualquier dispositivo dentro del volumen que consuma electricidad. Por tanto, se puede asumir que los laboratorios no tienen un elevado consumo de electricidad en cuanto a climatización en estos meses. Esto se debe a que al ser salas principalmente de ordenadores y servidores, estos desprenden mucho calor y al estar bien aisladas no necesitan un aporte excesivo de los equipos. Además, hay que tener en cuenta que las salas solo están funcionando unas pocas al día por lo que el resto del tiempo no hay necesidad de conservar la temperatura.

La segunda indica la demanda pico de electricidad. Esta demanda se da el 8 de enero a las 10:15, es decir un día clave a la vuelta de vacaciones, donde las temperaturas fueron bajas, en una hora de trabajo cuando aún no se ha calentado las salas necesitando un total de 13989.81 W de energía. En este caso la energía necesaria de calefacción 7661.14 W es mayor que el precisado por los equipos interiores 5760.34 W. Esto indica que en momentos puntuales el equipo debe estar dimensionado para proporcionar el calor necesario pero que la mayoría del tiempo va a estar funcionando a un rendimiento bajo.

La tercera indica la electricidad por kWh/m² un dato muy utilizado a la hora de estudiar la eficiencia energética de un edificio y verificar si se han respetado los parámetros de construcción y dimensionado para realizar el máximo ahorro de energía posible. Este valor ayuda al cumplimiento de la HE-1, sección del DB HE del CTE (Código Técnico de la Edificación). Se conoce que para una vivienda de estas dimensiones y en esta zona climática (B3) es de aproximadamente 15 kWh/m² para calefacción, si se tiene en cuenta que la sala solo necesita energía una tercera parte del tiempo de residencia de una vivienda, se puede asumir que las salas cumplen la HE-1 [23]

Consumo	Electricity [kWh]
Heating	1542.24
Cooling	0.00
Interior Equipment	6979.88
Fans	131.86
Total End Uses	8653.98

Demanda pico	Electricity [W]
Time of Peak	08-JAN-10:15
Heating	7661.14
Cooling	0.00
Interior Equipment	5760.34
Fans	568.33
Pumps	0.00
Total End Uses	13989.81

Electricidad por m ²	Electricity [kWh/m ²]
Heating	4.38
Cooling	0.00
Interior Equipment	19.81
Fans	0.37
Total	24.57



8.2 DATOS DE LOS VENTILADORES

Se ha decido representar los ventiladores de cada habitación ya que es interesante conocer el consumo que se utiliza para mover el aire de la zona. En este caso la potencia de los ventiladores es de aproximadamente 200 W, se trata de unos ventiladores ordinarios que ayudan a impulsar el aire de climatización.

	Total Efficiency [W/W]	Delta Pressure [pa]	Max Air Flow Rate [m ³ /s]	Rated Electric Power [W]	Rated Power Per Max Air Flow Rate [W-s/m ³]	Motor Heat In Air Fraction	End Use
FANONOFF1.14	0.60	155.00	0.80	206.67	258.33	1.00	General
FANONOFF1.17	0.60	155.00	0.80	206.67	258.33	1.00	General
FANONOFF1.15	0.60	155.00	0.80	206.67	258.33	1.00	General
FANONOFF1.16	0.60	155.00	0.80	206.67	258.33	1.00	General

8.3 CONFORTABILIDAD

Para analizar la sensación de confort que se necesita en la zona se recurre a la norma ASHRAE 55. Consiste en un método gráfico que utiliza una superposición en un gráfico psicrométrico para indicar las temperaturas y la humedad a la que se logra el confort térmico en el invierno (1.0 clo) y el verano (0.5 clo). Si nos encontramos dentro de dichas franjas estaremos en una zona de confort. Se basa en el modelo de Voto Promedio Predicho (PMV). Para medirlo analíticamente se proporciona la , la velocidad del aire, la humedad, la tasa metabólica y el valor de aislamiento de la ropa, y la herramienta evalúa la sensación térmica dentro de dicho gráfico prevista en una escala de -3 (frío) a +3 (caliente). [24]

En nuestro caso de aproximadamente 2100 horas analizadas en invierno disponemos de:

Habitación 14: 775.75 horas de no confort.

Habitación 15: 682.75 horas de no confort.

Habitación 16: 811.50 horas de no confort.

Habitación 17: 431.25 horas de no confort.

Si se considera que las horas de trabajo han sido la tercera parte de las analizadas menos los días de vacaciones y fines de semana se puede llegar a afirmar que se ha respetado el confort en los laboratorios y los equipos han funcionado para satisfacer las necesidades.

**Time Not Comfortable Based on Simple ASHRAE 55-2004**

	Winter Clothes [hr]	Summer Clothes [hr]	Summer or Winter Clothes [hr]
HABITACION14	775.75	1060.25	774.75
HABITACION17	431.25	1023.50	420.00
HABITACION15	682.75	1061.75	682.75
HABITACION16	811.50	1064.00	811.50
Facility	920.75	1064.00	909.50

8.4 TIEMPO QUE NO SE HA CUMPLIDO LA CONSIGNA

Para dar una mayor precisión en los resultados no solo se revisó la temperatura de las habitaciones, sino que se tuvo en cuenta los valores de consigna que establecía el personal que trabajaba en el laboratorio de tal forma que así no solo se conocía la sensación térmica del trabajador sino que se podía simular con gran precisión el funcionamiento del equipo. Estos equipos no ideales tardan en alcanzar la temperatura de consigna en cada habitación y es necesario conocer estos valores para saber si es necesario establecer unos equipos más potentes o si hay pérdidas de aire climatizado en los locales. En nuestro caso al respetarse el confort de la zona y ser bastante bajas las energías necesarias por los equipos se consideran válidos estos tiempos.

Time Setpoint Not Met

	During Heating [hr]	During Cooling [hr]	During Occupied Heating [hr]	During Occupied Cooling [hr]
HABITACION14	159.00	0.00	85.25	0.00
HABITACION17	290.25	0.00	109.25	0.00
HABITACION15	222.75	0.00	149.00	0.00
HABITACION16	128.25	0.00	93.25	0.00
Facility	632.50	0.00	327.25	0.00



8.5 NÚMERO DE OCUPANTES, INFILTRACIÓN Y RENOVACIÓN DE AIRE

Tras analizar la el tiempo de confort se indica cuantos ocupantes se encuentran en cada sala. En este caso se tiene 3 ocupantes en las zonas pequeñas y 4 en la grande. Además se indica la media diaria de ocupación 1.41 en las habitaciones pequeñas y 1.88 en la grande. Se tendrán en cuenta estos valores a la hora de calcular la transmisión de calor por zona. De la misma forma se analizará el movimiento de aire de la zona a través de la ventilación y la infiltración.

Los ventiladores del apartado 8.2 únicamente se encargarán de provocar el intercambio de calor entre los equipos y la sala ya que la renovación de aire será por medio de infiltraciones. No se considera ventilación mecánica ni simple.

Las infiltraciones de cada habitación son:

Habitación 14: 2.566 renovaciones por hora.

Habitación 15: 2.571 renovaciones por hora.

Habitación 16: 2.566 renovaciones por hora.

Habitación 17: 2.377 renovaciones por hora.

	Average Number of Occupants	Nominal Number of Occupants	Zone Volume [m ³]	Mechanical Ventilation [ach]	Infiltration [ach]	Simple Ventilation [ach]
HABITACION14	1.41	3.00	167.25	0.000	2.566	0.000
HABITACION17	1.88	4.00	312.52	0.000	2.377	0.000
HABITACION15	1.41	3.00	164.41	0.000	2.571	0.000
HABITACION16	1.41	3.00	164.41	0.000	2.566	0.000



8.6 ELECTRICIDAD POR ZONA

Después de realizar un análisis global del consumo de electricidad se busca conocer cómo se reparte en cada habitación y comentar si es elevado o si se encuentra mal repartido. Además, se observan los picos de consumo producidos por los equipos.

Los valores de consumo de los equipos por zona son en torno a 700 kWh mientras que en la habitación grande el valor es de unos 3500 kWh. Esto se debe a que en la habitación 17 hay una mayor cantidad de iluminación, su ocupación es mucho mayor que en las otras y además hay un servidor que además de generar mucho calor consume mucha electricidad. Por lo que se puede decir que está correctamente repartido entre las habitaciones y no hay incongruencias en el consumo.

Otro valor añadido es el consumo de los equipos de climatización que es de unos 1600 kWh. Por tanto la suma de todos estos valores resulta los 8653.98 kWh que se habían analizado anteriormente.

	Electricity Annual Value [kWh]	Electricity Minimum Value [W]	Timestamp of Minimum {TIMESTAMP}	Electricity Maximum Value [W]	Timestamp of Maximum {TIMESTAMP}
Electricity:Zone:HABITACION14	734.23	215.11	01-DEC-00:15	726.00	02-DEC-08:15
InteriorEquipment:Zone:HABITACION14	734.23	215.11	01-DEC-00:15	726.00	02-DEC-08:15
Electricity:Zone:HABITACION15	721.75	211.46	01-DEC-00:15	713.66	02-DEC-08:15
InteriorEquipment:Zone:HABITACION15	721.75	211.46	01-DEC-00:15	713.66	02-DEC-08:15
Electricity:Zone:HABITACION16	721.75	211.46	01-DEC-00:15	713.66	02-DEC-08:15
InteriorEquipment:Zone:HABITACION16	721.75	211.46	01-DEC-00:15	713.66	02-DEC-08:15
Electricity:Zone:HABITACION17	3542.48	1406.82	01-DEC-00:15	2361.45	02-DEC-08:15
InteriorEquipment:Zone:HABITACION17	3542.48	1406.82	01-DEC-00:15	2361.45	02-DEC-08:15
Electricity:HVAC	1674.10	0.00	01-DEC-00:15	8229.47	22-DEC-05:30
Fans:Electricity	131.86	0.00	01-DEC-00:15	568.33	22-DEC-03:15
Cooling:Electricity	0.00	0.00	01-DEC-00:15	0.00	01-DEC-08:45
Heating:Electricity	1542.25	0.00	01-DEC-00:15	7661.14	22-DEC-05:30



8.7 ENERGÍA POR ZONA

Al igual que con la electricidad se precisa hacer un análisis del calor repartido en cada zona. Como el modelo se analiza durante los meses de diciembre, enero y febrero, toda la energía que se transmite es en forma de calor para aumentar la temperatura de la zona. Por tanto, la energía transferida es la misma que la calorífica.

En este caso la energía es diferente en cada habitación. Esto se debe a la ocupación real de las salas y a la sensación térmica en cada una de ellas. Se observa que la habitación 17 es la más grande y por tanto es la que mayor necesidad de calor tiene. En segundo lugar, se tiene la habitación 14 que es la que menos ocupada estuvo en la realidad y por tanto es la que menos valores de consigna posee. En tercer lugar, está la habitación 15 que aunque estuvo bastante transitada posee unas temperaturas muy altas. En último lugar está la habitación 16 que por lo general solo trabajaba una persona y aunque no era la menos transitada sus valores de consigna y temperatura fueron bastante bajos.

Además, se puede observar los valores pico en días fríos. Estos valores fueron de aproximadamente 3700 W y se tienen en cuenta a la hora de dimensionar los equipos.

	Annual Value [kWh]	Minimum Value [W]	Timestamp of Minimum {TIMESTAMP}	Maximum Value [W]	Timestamp of Maximum {TIMESTAMP}
EnergyTransfer:Zone:HABITACION14	780.06	0.00	01-DEC-00:15	3715.77	19-DEC-14:15
Heating:EnergyTransfer:Zone:HABITACION14	780.06	0.00	01-DEC-00:15	3715.77	19-DEC-14:15
EnergyTransfer:Zone:HABITACION17	906.29	0.00	01-DEC-00:15	3729.21	22-DEC-05:30
Heating:EnergyTransfer:Zone:HABITACION17	906.29	0.00	01-DEC-00:15	3729.21	22-DEC-05:30
EnergyTransfer:Zone:HABITACION15	589.60	0.00	01-DEC-00:15	3750.83	04-FEB-04:15
Heating:EnergyTransfer:Zone:HABITACION15	589.60	0.00	01-DEC-00:15	3750.83	04-FEB-04:15
EnergyTransfer:Zone:HABITACION16	306.41	0.00	01-DEC-00:15	3723.60	04-DEC-17:15
Heating:EnergyTransfer:Zone:HABITACION16	306.40	0.00	01-DEC-00:15	3723.60	04-DEC-17:15



8.8 PÉRDIDA DE ENERGÍA POR ZONA

Tras saber el calor que se transmite a cada zona es conveniente comprobar el calor que se pierde para contrastar los datos anteriores. Como era de esperar la habitación 17, con más pérdidas, es la que tiene más infiltración y más ventanas. Las otras habitaciones al ser de tamaño similar poseen perdidas parecidas. Por lo que se confirma que el calor variará fundamentalmente por ocupación y temperaturas de consigna.

Además, es importante tener en cuenta que las ventanas añaden más calor del que eliminan en cuanto lo que a cristal se refieren, no obstante sería necesario realizar el cálculo para otro tipo de simulación ya que más ventanas añadirían infiltración y depende del uso que se dé a estas.

	Window Heat Addition [kWh]	Interzone Air Transfer Heat Addition [kWh]	Infiltration Heat Addition [kWh]	Window Heat Removal [kWh]	Interzone Air Transfer Heat Removal [kWh]	Infiltration Heat Removal [kWh]	Total [kWh]
HABITACION14	448.377	287.023	9.724	-69.52	-37.65	-2237.28	-1599.33
HABITACION17	1181.968	252.211	0.092	-237.18	-529.78	-5148.35	-4481.04
HABITACION15	822.530	377.975	2.350	-139.54	-53.34	-2403.40	-1393.43
HABITACION16	827.899	458.644	2.241	-132.83	-20.80	-2256.72	-1121.57

Si se hubieran modelado otros meses este análisis se habría realizado de forma distinta ya que es importante la influencia del sol durante este período y en invierno es más interesante que el sol incida mientras que en verano se intenta que el calor se disipe.

Por tanto, en invierno se puede pensar que las ventanas (que no añadan infiltración) mejoran la eficiencia del modelo mientras que en verano lo empeoran. Al tratarse de una zona climática como la de Murcia, si se realiza un estudio del año entero es preferible tratar de ahorrar en verano.



8.9 POTENCIA CALORÍFICA FRENTE AL INCREMENTO DE Tª

En este apartado, se procede a la verificación del incremento de potencia cuanto mayor es la diferencia de temperatura, es decir, se va a comprobar la relación lineal entre las máquinas y la temperatura deseada. Por tanto se va a relacionar la potencia requerida para vencer un determinado salto de temperatura en momentos donde estuvo enchufado el equipo. Esta función se observa en los gráficos para cada habitación. Figuras 8.1, 8.2, 8,3 y 8,4.

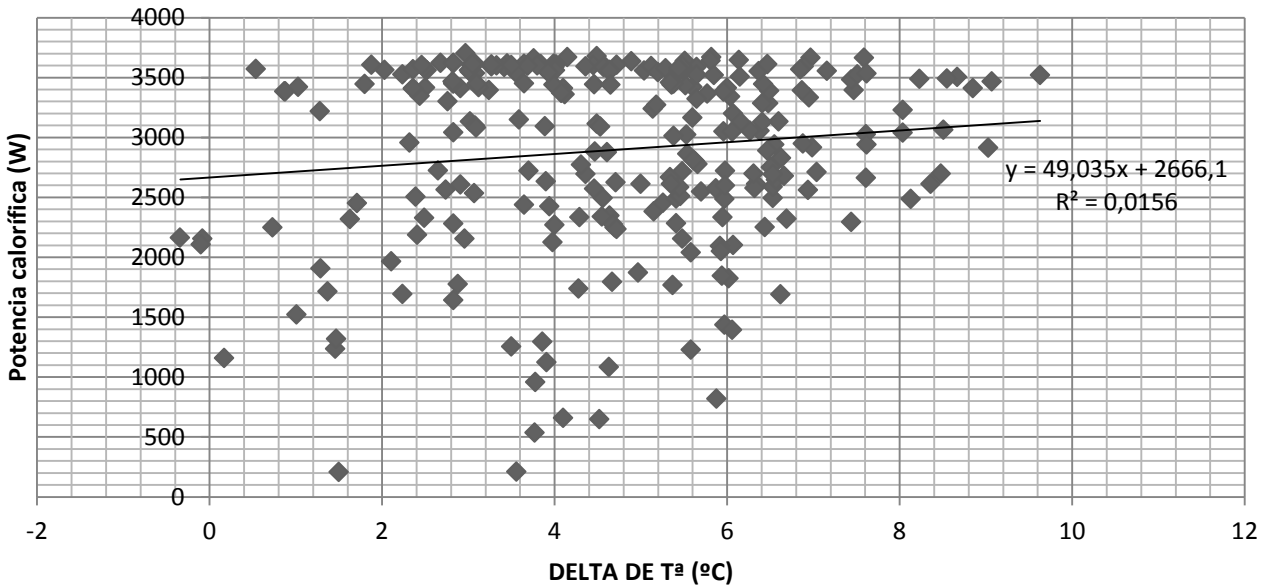


Figura 8.1. Representación de potencia calorífica (W) frente al incremento de Tª (°C). Habitación 14.

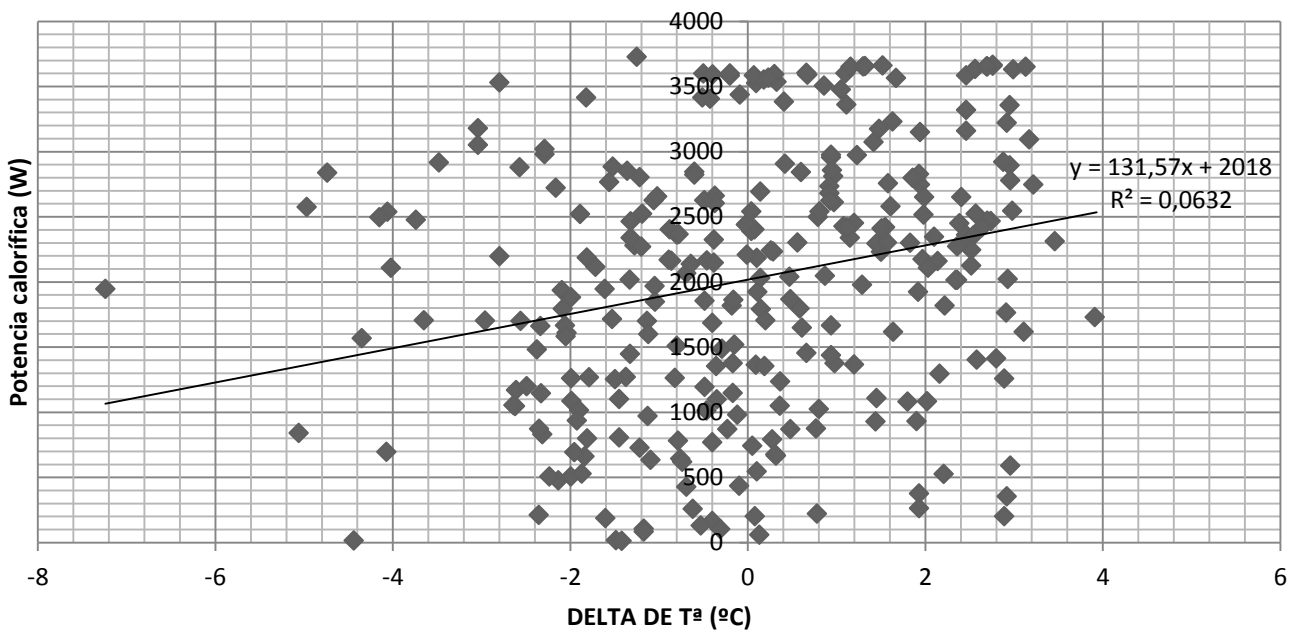


Figura 8.2. Representación de potencia calorífica (W) frente al incremento de Tª (°C). Habitación 15.

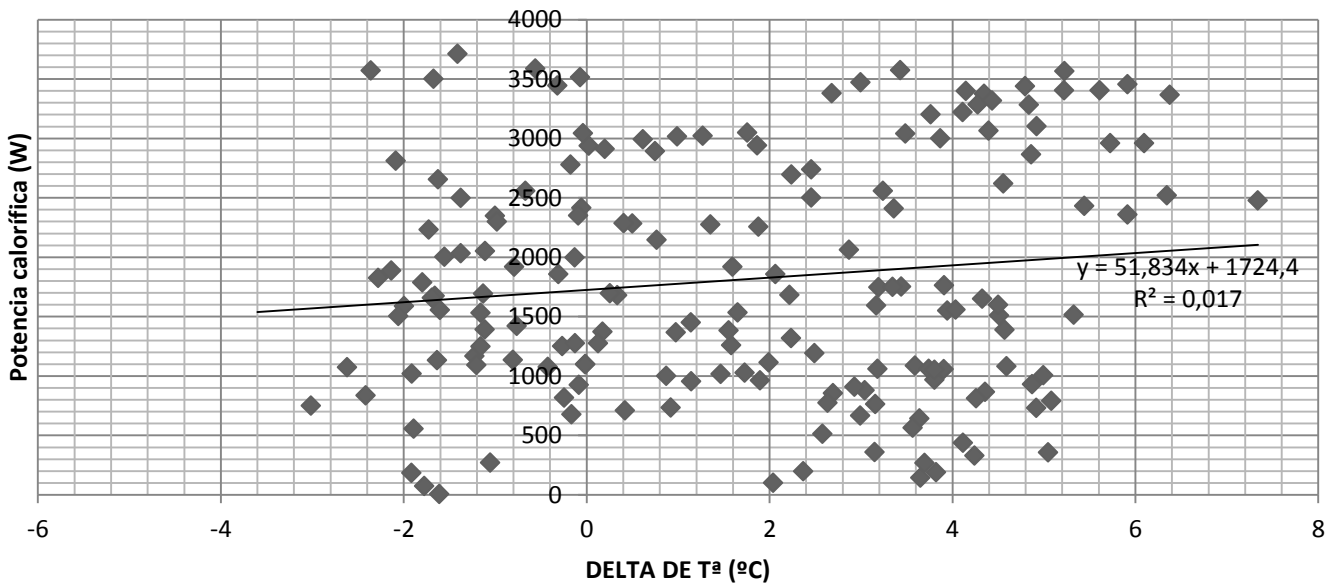


Figura 8.3. Representación de potencia calorífica (W) frente al incremento de Tª (°C). Habitación 16.

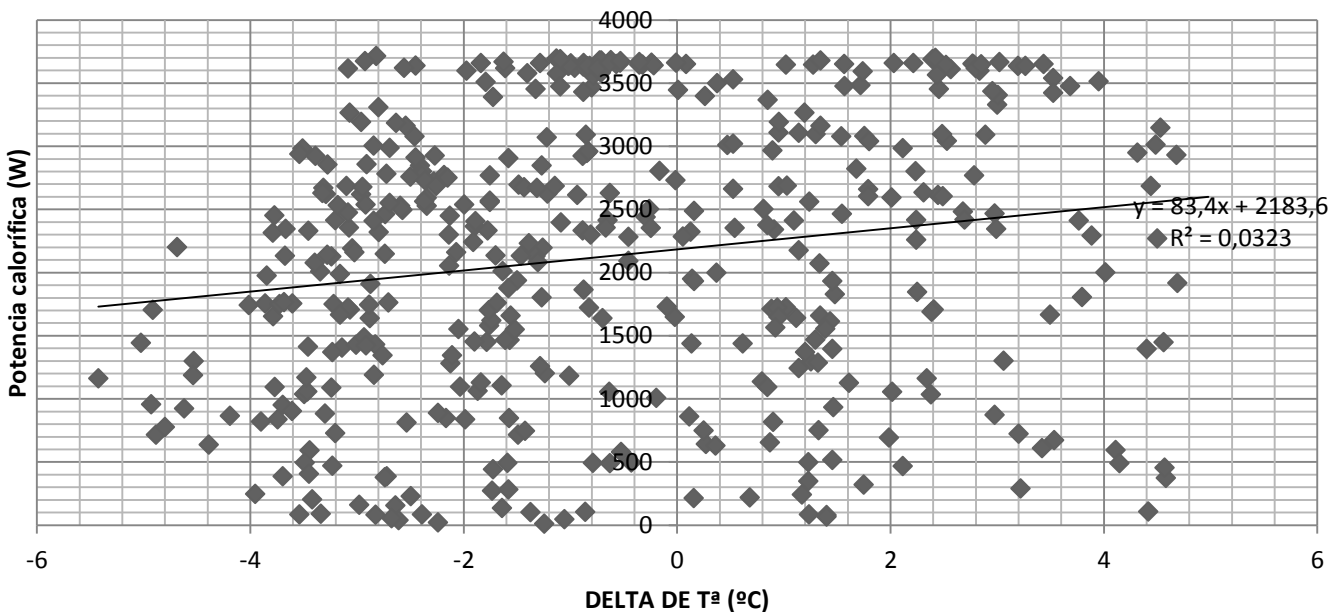


Figura 8.4. Representación de potencia calorífica (W) frente al incremento de Tª (°C). Habitación 17.

Como era de esperar, cuanto mayor es el salto a vencer, mayor es la potencia necesaria. Por eso en todas las habitaciones se observa una recta creciente. Hay casos en los que esto se ve afectado por otros factores pero en el cómputo global se respeta esta suposición. Además, se puede apreciar una ordenada en el origen que supone el costo de poner en funcionamiento la máquina. Aunque se observa una tendencia creciente, la nube de puntos no se puede ajustar exactamente a una recta, tal y como se observa con los valores de R^2 . En una situación ideal, esta línea seguiría las curvas de funcionamiento del aparato para valores de incremento de temperatura, pero en este caso está influenciada por factores externos que influyen en el salto térmico y que añaden cargas térmicas como pueden ser: los ocupantes, la temperatura externa, las distintas infiltraciones, la actividad realizada, etc. También son partícipes otros factores internos como puede ser el estado del equipo o la repentina necesidad de calor o frío.



8.10 RESUMEN DE LOS DATOS

Se añade a modo de corolario una tabla con los datos más relevantes de los laboratorios para ver su funcionamiento global.

	HVAC Zone Eq & Other Sensible Air Heating [kWh]	People Sensible Heat Addition [kWh]	Equipment Sensible Heat Addition [kWh]	Window Heat Addition [kWh]	Interzone Air Transfer Heat Addition [kWh]	Infiltration Heat Addition [kWh]	Window Heat Removal [kWh]	Interzone Air Transfer Heat Removal [kWh]	Infiltration Heat Removal [kWh]
HABITACION14	780.069	129.680	734.227	448.377	287.023	9.724	-69.52	-37.65	-2237.28
HABITACION17	906.291	161.781	3542.481	1181.968	252.211	0.092	-237.18	-529.78	-5148.35
HABITACION15	589.600	129.736	721.753	822.530	377.975	2.350	-139.54	-53.34	-2403.40
HABITACION16	306.406	132.142	721.753	827.899	458.644	2.241	-132.83	-20.80	-2256.72

9. PREDICCIÓN PARA UN AÑO DE FUNCIONAMIENTO

El modelo descrito permite simular los tres meses de los que se han obtenido los datos pero si se consideran que los valores de consigna marcados son aproximadamente de 24 °C para la máxima y 20 °C para la mínima. Esta predicción se puede extender para todo el año si se respetan los patrones definidos. Se establecen los módulos de trabajo y se supone que el edificio trabaja a su máxima ocupación. En primer lugar, se muestra la temperatura y el módulo de trabajo del año a analizar en Murcia. Figura 9.1.

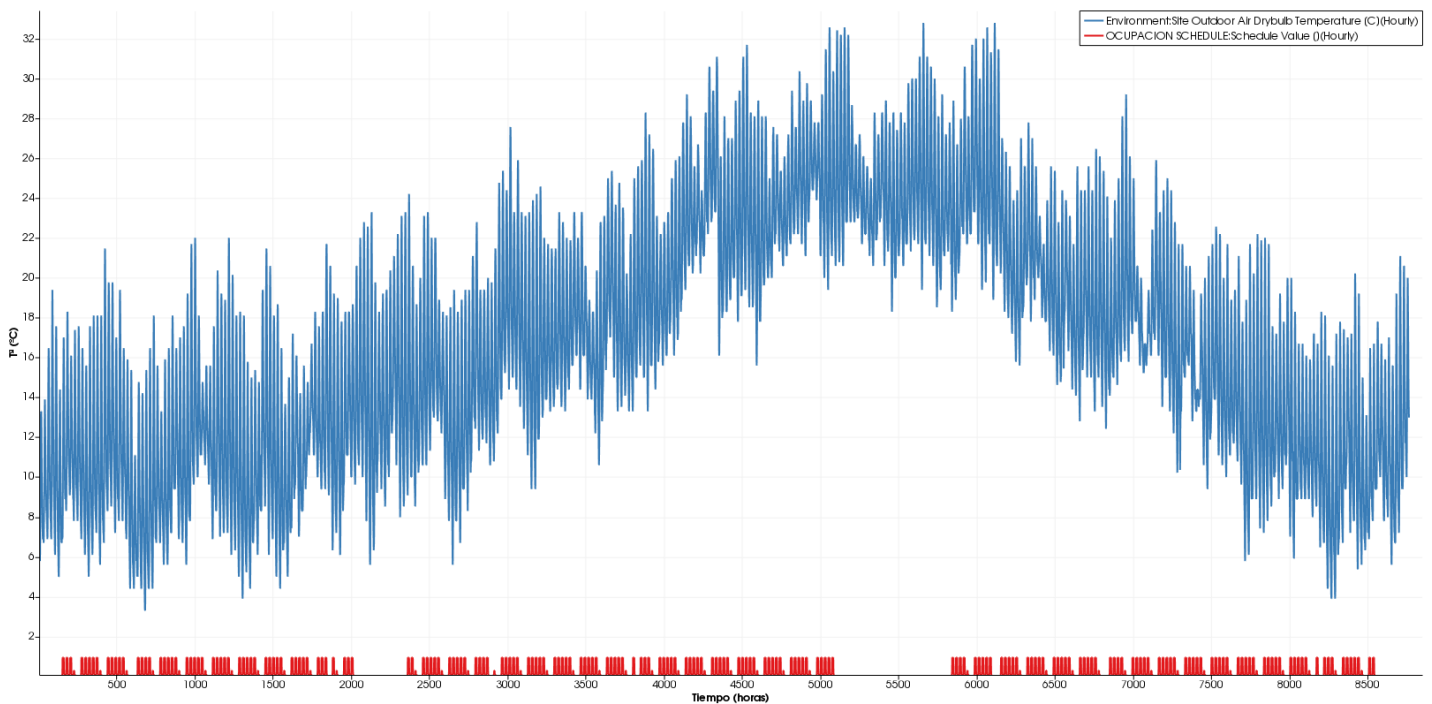


Figura 9.1. Representación de la temperatura anual y el módulo de ocupación.

Se observa cómo se han tenido en cuenta los períodos vacacionales y que el año a analizar no solo ha sido un año frío para el tiempo que suele haber en Murcia sino que la zona a analizar está a una determinada altura sobre el nivel del mar.

Se decide climatizar únicamente durante el horario de ocupación de forma automática. Por lo que no coincidirá con las temperaturas extremas y además se dará prioridad al ahorro de forma que los trabajadores deben acudir durante los horarios establecidos.

De la misma forma tanto los equipos eléctricos como los ventiladores funcionan de forma constante durante los horarios de ocupación.

Con estas premisas se realiza la simulación y se representan en primer lugar las temperaturas para ver si se ha climatizado la zona de forma coherente. Figura 9.2.

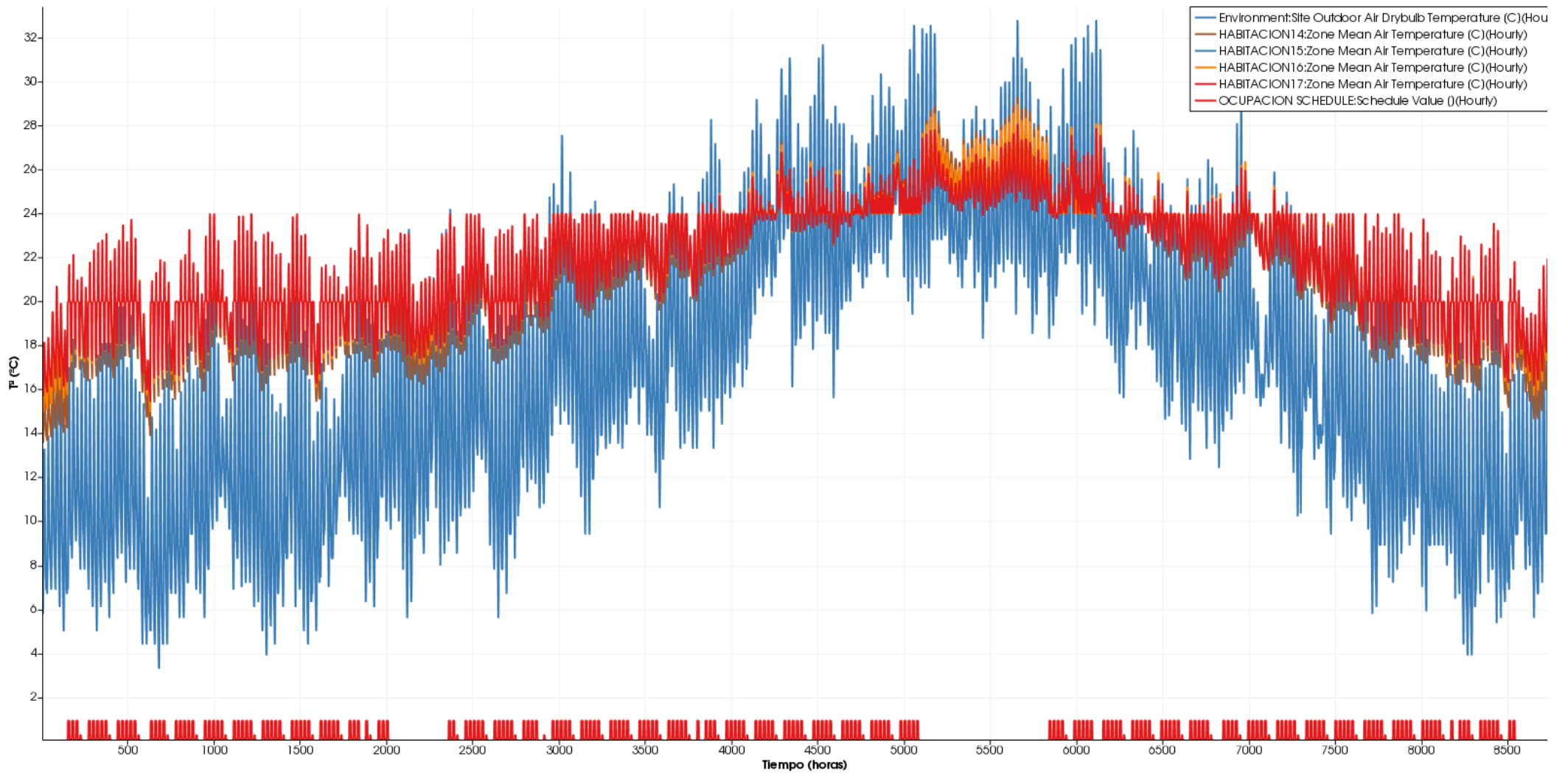


Figura 9.2. Representación de la temperatura anual de las habitaciones y el módulo de ocupación.



Entre los aspectos a destacar, se puede apreciar que la temperatura durante los periodos vacacionales (verano e invierno) no se considera como temperaturas de confort ya que en este periodo el edificio no está habitado. Lo mismo ocurre con los fines de semana y por las noches. Por esto se observan las oscilaciones tanto a corto como a largo plazo.

También se pueden distinguir dos modos de funcionamiento fundamentales:

- Un primer modo donde funcionan los equipos de calor. Se intenta continuamente alcanzar la temperatura de consigna de 20°. Es decir, los equipos funcionan de tal manera que no se baje de dicha temperatura cuando la exterior es inferior a dicha temperatura.
- Un segundo modo en el que funcionan los equipos de frío para que no se supere los 24° siendo la temperatura externa superior a este valor. Este segundo modo se da durante más tiempo ya que el clima en Murcia tiende a ser caluroso y sobre todo en los laboratorios donde hay muchos ordenadores y están bien aislados. [25]

Ahora se busca predecir los consumos y demandas como se ha realizado con los meses modelados.

9.1 PREDICCIÓN DE CONSUMO ANUAL, DEMANDA Y ELECTRICIDAD POR m²

La primera tabla refleja el consumo anual que se daría en los laboratorios que es de 38030.32 kWh. Este a su vez está dividido en tres partes fundamentales. El calor y el frío aportado por el equipo de climatización 2138.86 y 3011.98 kWh respectivamente y los equipos interiores 25623.49 kWh. Por tanto, se puede asumir que los laboratorios no tienen un elevado consumo de electricidad en cuanto a climatización en estos meses. Esto se debe a que al ser salas principalmente de ordenadores y servidores, estos desprenden mucho calor y al estar bien aisladas no necesitan un aporte excesivo de los equipos.

Comparándolo con los resultados reales, se observa que el consumo es algo inferior ya que si se multiplica $4 \cdot 8653.98 = 34615,92$, debido a que teníamos 3 meses de funcionamiento, se aprecia una reducción en el consumo sobre todo por los equipos de trabajo. Además, el consumo de calefacción también es algo más reducido, ya que en el caso anterior era para 3 meses cuando ahora resulta para todo el año. Estos datos de consumo se deben a la aplicación de un termostato, en vez de los valores de consigna, que mantiene la temperatura entre 20 y 24 °C en las horas de ocupación. Se analizará este resultado como propuesta de mejora en apartados posteriores.

La segunda indica la demanda pico de electricidad. Esta demanda se da el 27 de enero a las 8:15. Al igual que en el análisis anterior, se da en el mes de enero, donde las temperaturas fueron bajas, en una hora de trabajo cuando aún no se ha calentado las salas necesitando un total de 12875.26 W de energía. Es un pico parecido al que se dio en el análisis real de 13 kW. En este caso la energía necesaria de calefacción es de 6846.95 W y al tratarse de enero no hay energía de refrigeración. Las dimensiones de los equipos pueden ser similares a las que poseen los laboratorios ya que cumple con los requisitos de las demandas pico.

La tercera indica la electricidad por kWh/m² un dato muy utilizado a la hora de estudiar la eficiencia energética de un edificio. Se conoce que para una vivienda de estas dimensiones y en esta zona climática (B3) es de aproximadamente 15 kWh/m² para calefacción y refrigeración por lo que con valores de 6.07 y 8.55 respectivamente se pueden decir que cumplen la norma HE-1.



Consumo	Electricity [kWh]	Demanda	Electricity [W]	Electricidad por m²	Electricity [kWh/m ²]
Heating	2138.86	Time of Peak	27-JAN-08:15	Heating	6.07
Cooling	3011.98	Heating	6846.95	Cooling	8.55
Interior Equipment	25623.49	Cooling	0.00	Interior Equipment	72.74
Fans	1125.75	Interior Equipment	5459.98	Fans	3.20
Total End Uses	31900.08	Total End Uses	12875.26	Total	90.56

9.2 DATOS DE LOS VENTILADORES PARA UN AÑO

Los datos de los ventiladores se han mantenido durante el análisis ya que reflejan la potencia y el funcionamiento de unos ventiladores ordinarios.

En este caso varía el consumo del mismo porque han estado funcionando durante un período más largo y se considera un valor aceptable aunque algo superior si se tiene en cuenta que el valor debería ser cuatro veces mayor.

Estos valores son mayores en proporción debido a que los equipos de refrigeración funcionan más que los de calefacción y este hecho hace que aumente el consumo anual de electricidad en cuanto a ventiladores.

	Type	Total Efficiency [W/W]	Delta Pressure [pa]	Max Air Flow Rate [m ³ /s]	Rated Electric Power [W]	Rated Power Per Max Air Flow Rate [W-s/m ³]	Motor Heat In Air Fraction	End Use
FANONOFF1.14	Fan:OnOff	0.60	155.00	0.80	206.67	258.33	1.00	General
FANONOFF1.17	Fan:OnOff	0.60	155.00	0.80	206.67	258.33	1.00	General
FANONOFF1.15	Fan:OnOff	0.60	155.00	0.80	206.67	258.33	1.00	General
FANONOFF1.16	Fan:OnOff	0.60	155.00	0.80	206.67	258.33	1.00	General



9.3 ANÁLISIS DE CONFORTABILIDAD EN LA PREDICCIÓN

Para analizar la sensación de confort que se necesita en la zona se recurre a la norma ASHRAE 55 explicada en el apartado 8.3. En nuestro caso de aproximadamente 8600 horas analizadas durante todo el año se dispone de:

Habitación 14: 2371 horas de no confort.

Habitación 15: 2122 horas de no confort.

Habitación 16: 2183 horas de no confort.

Habitación 17: 2181.75 horas de no confort.

Time Not Comfortable Based on Simple ASHRAE 55-2004

	Winter Clothes [hr]	Summer Clothes [hr]	Summer or Winter Clothes [hr]
HABITACION14	2371.00	3425.25	1773.75
HABITACION17	2122.00	3147.75	1274.50
HABITACION15	2183.00	3135.25	1321.50
HABITACION16	2181.75	3133.25	1318.50
Facility	2568.25	3443.25	1791.50

Para compararlos con el caso anterior se van a reducir en 4 los resultados anteriores y así ver si se ha mantenido la confortabilidad real en el modelo de predicción.

	Winter Clothes [hr]	Summer Clothes [hr]	Summer or Winter Clothes [hr]
HABITACION14	592.75	856.3125	443.4375
HABITACION17	530.5	786.9375	318.625
HABITACION15	545.75	783.8125	330.375
HABITACION16	545.4375	783.3125	329.625
Facility	642.0625	860.8125	447.875



Se observa a simple vista si se compara con los resultados anteriores que se ha mejorado la sensación de confortabilidad en invierno según la norma. Es decir, hay más horas de confort. El problema reside en que se supone que en invierno se visten ropas más cálidas y que la sensación personal es la normal pero en muchos casos esto es subjetivo y por tanto aunque se mejora la confortabilidad puede haber casos donde interese conocer la opinión del trabajador. Este aspecto se comentará posteriormente en la propuesta de mejora de establecer unos rangos de temperatura fijos.

9.4 TIEMPO QUE SE TARDA EN ESTABLECER EL RANGO DE TEMPERATURAS

Como los equipos funcionan únicamente durante las horas de operación hay franjas de tiempo en las que tarda en alcanzarse la temperatura. Si acumulamos todas estas franjas durante todo el año se obtiene el tiempo total que tarda en alcanzarse las temperaturas óptimas.

	During Heating [hr]	During Cooling [hr]	During Occupied Heating [hr]	During Occupied Cooling [hr]
HABITACION14	1990.25	1261.00	37.25	82.75
HABITACION17	1760.00	1539.00	64.75	385.25
HABITACION15	1733.00	1303.00	19.50	100.25
HABITACION16	1732.00	1304.25	19.50	100.75
Facility	2019.00	1593.00	66.00	385.75

Si se reducen en 4 estos tiempos se pueden comparar con los del apartado real.

	During Heating [hr]	During Cooling [hr]	During Occupied Heating [hr]	During Occupied Cooling [hr]
HABITACION14	497.5625	315.25	9.3125	20.6875
HABITACION17	440	384.75	16.1875	96.3125
HABITACION15	433.25	325.75	4.875	25.0625
HABITACION16	433	326.0625	4.875	25.1875
Facility	504.75	398.25	16.5	96.4375



Se observa que mediante rangos de temperatura estos tiempos son algo mayores que si se fija mediante consigna. Se supone que es mayor porque hay mayores variaciones de temperatura, debido a que se van fijando secuencialmente los distintos valores. No obstante al tener mayores horas de confort, este método resulta más adecuado desde el punto de vista energético.

9.5 OCUPANTES, INFILTRACIÓN Y RENOVACIÓN DE AIRE ANUAL

Se establecen los mismos ocupantes por zona que para el invierno, pero estos se mantienen durante todo el año y se suponen que están en la sala durante los horarios de ocupación. Además, se mantienen los datos de infiltración y renovación de aire. La única variación será el uso de ventiladores a la hora de climatizar la zona a fin de mezclar aire. En este caso será mayor que en invierno debido a que durante todo el año no solo hay más horas de climatización, sino que en el caso de refrigeración es mayor que en calefacción.

	Average Number of Occupants	Nominal Number of Occupants	Zone Volume [m3]	Mechanical Ventilation [ach]	Infiltration [ach]	Simple Ventilation [ach]
HABITACION14	1.41	3.00	167.25	0.000	2.566	0.000
HABITACION17	1.88	4.00	312.52	0.000	2.377	0.000
HABITACION15	1.41	3.00	164.41	0.000	2.571	0.000
HABITACION16	1.41	3.00	164.41	0.000	2.566	0.000

9.6 PREDICCIÓN DE ELECTRICIDAD POR ZONA

A continuación, se realiza una predicción más detallada de los consumos de electricidad por zona y los picos de energía necesaria. Cabe esperar que la electricidad usada para refrigerar deba de ser mayor que la de calefacción, teniendo en cuenta que la energía de refrigeración es algo superior a la de calefacción.

Además, como se han establecido los mismos parámetros de trabajo y los mismos elementos de consumo en las habitaciones 14,15 y 16, deberán tener valores de consumo similares y solo estar afectados por elementos de la geometría (orientación, ventanas, corrientes, espacios...). Sin embargo, el consumo de la habitación 17 tendrá que ser mayor por ser el doble de grande.

Por tanto se reflejan los consumos y se verifican las hipótesis de los consumos:



	Electricity Annual Value [kWh]	Electricity Minimum Value [W]	Timestamp of Minimum {TIMESTAMP}	Electricity Maximum Value [W]	Timestamp of Maximum {TIMESTAMP}
Electricity:Zone:HABITACION14	3911.85	322.67	01-JAN-00:15	833.55	07-JAN-08:15
InteriorEquipment:Zone:HABITACION14	3911.85	322.67	01-JAN-00:15	833.55	07-JAN-08:15
Electricity:Zone:HABITACION15	3845.38	317.18	01-JAN-00:15	819.39	07-JAN-08:15
InteriorEquipment:Zone:HABITACION15	3845.38	317.18	01-JAN-00:15	819.39	07-JAN-08:15
Electricity:Zone:HABITACION16	3845.38	317.18	01-JAN-00:15	819.39	07-JAN-08:15
InteriorEquipment:Zone:HABITACION16	3845.38	317.18	01-JAN-00:15	819.39	07-JAN-08:15
Electricity:Zone:HABITACION17	7309.55	602.92	01-JAN-00:15	1557.55	07-JAN-08:15
InteriorEquipment:Zone:HABITACION17	7309.55	602.92	01-JAN-00:15	1557.55	07-JAN-08:15
Electricity:HVAC	6276.60	0.00	01-JAN-00:15	8897.00	27-JAN-06:15
Fans:Electricity	1125.75	0.00	01-JAN-00:15	568.33	07-JAN-06:15
Cooling:Electricity	3011.98	0.00	01-JAN-00:15	5375.31	10-SEP-16:00
Heating:Electricity	2138.87	0.00	01-JAN-00:15	8328.67	27-JAN-06:15

El consumo de las máquinas refrigeradoras es 1,5 veces aproximadamente mayor que el de calefacción debido a la climatología en Murcia.

La habitación que más consume es la 17 siendo su consumo casi el doble por ser el doble de grande. En un segundo plano se encuentran el resto de habitaciones que consumen aproximadamente lo mismo.

En este caso los consumos difieren de los establecidos por zona para el invierno en el análisis anterior ya que, aunque los elementos de consumo eran similares, las horas de funcionamiento han sido diferentes debido a que en el caso anterior se establecieron los valores de consigna y por tanto no se puede afirmar que estos consumos fueron 4 veces menores. Esta es una de las diferencias que se puede dar entre un método predictivo y la realidad. Puede ocurrir que aunque se suponga que en las habitaciones se va a trabajar por igual y por tanto necesiten las mismas horas de energía, luego no se dé así.



9.7 PREDICCIÓN DE ENERGÍA POR ZONA

De la misma forma que en el apartado anterior se realiza una visión global de la transmisión de energía en las distintas habitaciones.

Se observa que la habitación 17 es la que más energía recibe debido a que es la de mayor superficie y que el resto de habitaciones adquieren valores similares. Aunque en el modelo real no fue así, aquí se deduce que todas las habitaciones trabajan por igual de forma que tienen las mismas necesidades de climatización.

También se puede apreciar como la energía de refrigeración es mayor que la de calefacción en todas las zonas menos en la 14 por lo que en el cómputo global resulta más relevante. Se cree que en la habitación 14 no es así por la geometría del edificio, se encuentra en la esquina entre los dos pasillos y esto hace que, al encontrarse los pasillos a menor temperatura, esta habitación precise más calor que frío.

	Annual Value [kWh]	Minimum Value [W]	Timestamp of Minimum {TIMESTAMP}	Maximum Value [W]	Timestamp of Maximum {TIMESTAMP}
EnergyTransfer:Zone:HABITACION14	2159.60	0.00	01-JAN-00:15	3576.33	27-JAN-07:45
Heating:EnergyTransfer:Zone:HABITACION14	1106.94	0.00	01-JAN-00:15	3576.33	27-JAN-07:45
Cooling:EnergyTransfer:Zone:HABITACION16	1052.66	0.00	01-JAN-00:15	2045.23	20-JUL-15:00
EnergyTransfer:Zone:HABITACION17	2893.37	0.00	01-JAN-00:15	3633.02	07-JAN-08:00
Heating:EnergyTransfer:Zone:HABITACION17	1253.90	0.00	01-JAN-00:15	3633.02	07-JAN-08:00
Cooling:EnergyTransfer:Zone:HABITACION17	1639.46	0.00	01-JAN-00:15	2229.60	20-JUL-15:00
EnergyTransfer:Zone:HABITACION15	1990.73	0.00	01-JAN-00:15	3485.70	27-JAN-06:30
Heating:EnergyTransfer:Zone:HABITACION15	784.34	0.00	01-JAN-00:15	3485.70	27-JAN-06:30
Cooling:EnergyTransfer:Zone:HABITACION15	1206.39	0.00	01-JAN-00:15	2081.15	20-JUL-15:00
EnergyTransfer:Zone:HABITACION16	1991.13	0.00	01-JAN-00:15	3485.65	27-JAN-06:30
Heating:EnergyTransfer:Zone:HABITACION16	782.71	0.00	01-JAN-00:15	3485.65	27-JAN-06:30
Cooling:EnergyTransfer:Zone:HABITACION16	1208.41	0.00	01-JAN-00:15	2081.45	20-JUL-15:00



9.8 PÉRDIDA DE ENERGÍA POR ZONA EN LA PREDICCIÓN

Al igual que en el caso anterior conviene analizar las pérdidas que se dan por ventanas e infiltraciones. De este apartado se pueden sacar dos conclusiones:

- El calor total es negativo por lo que hay pérdidas de energía, esto se debe a que la influencia de las infiltraciones son mayores que las de las ventanas y en este caso las infiltraciones hacen perder calor a las habitaciones por lo que resulta negativo el cómputo.
- La habitación que más varía su energía es la 17 por ser más grande y por tener un mayor intercambio de energía. Las otras habitaciones tienen pérdidas similares.

Cuando se comentó las pérdidas en el apartado 8.8 se pensó en la posibilidad de variar el tipo de ventana sin cambiar la infiltración. En este apartado se observa que el cómputo global es que se añadiría calor al sistema si se tiene más ventana. En el apartado de propuestas de mejora se analizará si este aspecto mejora la eficiencia del edificio

	Window Heat Addition [kWh]	Interzone Air Transfer Heat Addition [kWh]	Infiltration Heat Addition [kWh]	Window Heat Removal [kWh]	Interzone Air Transfer Heat Removal [kWh]	Infiltration Heat Removal [kWh]	Total [kWh]
HABITACION14	1512.815	429.263	280.091	-200.72	-297.93	-6152.63	-4429.11
HABITACION17	4044.990	1429.259	454.677	-573.20	-1606.07	-11265.11	-7515.45
HABITACION15	2768.407	536.775	273.855	-391.72	-596.21	-6452.31	-3861.2
HABITACION16	2777.087	535.377	273.665	-392.58	-596.93	-6454.82	-3858.2

En términos generales y tras analizar los datos obtenidos de la simulación se puede decir que el año de predicción cumple con los requisitos esperados por lo que se podría saber el comportamiento del edificio aproximando con este modelo, únicamente introduciendo los datos de temperatura en Murcia en dicho año. Por tanto a continuación se realiza un resumen de los datos obtenidos y se comparan con los datos de los tres meses de invierno.



9.9 RESUMEN DE LOS DATOS PARA UN AÑO ENTERO.

	HVAC Zone Eq & Other Sensible Air Heating [kWh]	HVAC Zone Eq & Other Sensible Air Cooling [kWh]	People Sensible Heat Addition [kWh]	Equipment Sensible Heat Addition [kWh]	Window Heat Addition [kWh]	Interzone Air Transfer Heat Addition [kWh]	Infiltration Heat Addition [kWh]	Window Heat Rem. [kWh]	Interzone Air Transfer Heat Removal [kWh]	Infiltration Heat Removal [kWh]
HABITACION14	1106.948	-1052.63	466.991	3911.846	1512.815	429.263	280.091	-200.72	-297.93	-6152.63
HABITACION17	1253.913	-1639.42	609.668	7309.552	4044.990	1429.259	454.677	-573.20	-1606.07	-11265.11
HABITACION15	784.343	-1206.36	460.683	3845.383	2768.407	536.775	273.855	-391.72	-596.21	-6452.31
HABITACION16	782.718	-1208.38	460.648	3845.383	2777.087	535.377	273.665	-392.58	-596.93	-6454.82

Para compararlos con los resultados en los tres meses se reduce en 4 los datos del año entero de consumo energético y pérdidas quedando la tabla:

	HVAC Zone Eq & Other Sensible Air Heating [kWh]	HVAC Zone Eq & Other Sensible Air Cooling [kWh]	People Sensible Heat Addition [kWh]	Equipment Sensible Heat Addition [kWh]	Window Heat Addition [kWh]	Interzone Air Transfer Heat Addition [kWh]	Infiltration Heat Addition [kWh]	Window Heat Rem. [kWh]	Interzone Air Transfer Heat Removal [kWh]	Infiltration Heat Removal [kWh]
HABITACION14	1106.948	-1052.63	116.7478	977.9615	378.2038	107.3158	70.02275	-50.18	-74.4825	-1538.16
HABITACION17	1253.913	-1639.42	152.417	1827.388	1011.248	357.3148	113.6693	-143.3	-401.518	-2816.28
HABITACION15	784.343	-1206.36	115.1708	961.3458	692.1018	134.1938	68.46375	-97.93	-149.053	-1613.08
HABITACION16	782.718	-1208.38	115.162	961.3458	694.2718	133.8443	68.41625	-98.145	-149.233	-1613.71



Con la tabla anterior y la del apartado 8.9 se puede comprobar que el modelo predicho se ajusta al real en cada apartado:

- El calor de calefacción aportado es similar si se tiene en cuenta que para el año de funcionamiento habría en torno a 4 meses de calefacción.
- En el caso de los meses de invierno no hay refrigeración.
- No se aprecian grandes diferencias entre el calor aportado por el personal y los equipos en 3 meses de funcionamiento de ambas tablas.
- El calor disipado y añadido por las ventanas e infiltraciones tiene órdenes de magnitud similares y se puede observar que es donde más diferencias hay pero esto se debe a que si se realiza la cuarta parte de un año entero (con verano e invierno) el comportamiento es algo diferente que en tres meses de verano. A pesar de esto nos podemos hacer una idea de cuánto sería el calor perdido y absorbido en 3 meses de funcionamiento.

10. POSIBLES PROPUESTAS DE MEJORA

Tras la obtención de un modelo que refleja la geometría de Pleiades, y la inclusión de unos parámetros para crear un modelo lo más ajustado a la realidad posible, se consiguió simular 3 meses de funcionamiento real gracias a unos datos proporcionados por las tecnologías IoT, y además se logró predecir un año de funcionamiento de este sistema. Partiendo de esta premisa se busca realizar ciertas modificaciones tanto en la geometría como en los equipos para que mejore la eficiencia energética de las habitaciones.

El procedimiento a seguir para ver si se mejora con dichas propuestas será simular los modelos tanto el real (3 meses) como el predictivo (1 año) para observar si se reduce el consumo, teniendo en cuenta que se debe mantener cierta confortabilidad en el edificio. Únicamente se cambiarán los datos propuestos en los modelos simulados de forma que se respeten los resultados obtenidos en los análisis anteriores. Además, se analizarán otros aspectos interesantes dependiendo de la propuesta. [26]

Principales propuestas de mejora:

- Eliminar el control por consigna e introducir un termostato.
- Reducir o aumentar el tamaño de las ventanas.
- Disminuir la infiltración.
- Aumentar o disminuir la capa de aislamiento.
- Modificar la potencia de ventiladores.
- Cambio de horario a uno nocturno (trabajar de noche).
- Cambiar la orientación de las salas.



10.1 ELIMINAR EL CONTROL POR CONSIGNA E INTRODUCIR UN TERMOSTATO

Esta propuesta consiste en eliminar el control por consigna de cada habitación, es decir fijar los valores de temperatura en un rango determinado de 20 a 24 °C durante los horarios de trabajo de forma que se respete la confortabilidad normal en el trabajo, pero se limite la libertad de climatizar del trabajador. Se analiza esta propuesta desde un punto de vista energético para ver si es rentable.

En primer lugar, se representan las temperaturas de las zonas para ver si se han respetado los márgenes fijados. Figuras 10.1 y 10.2

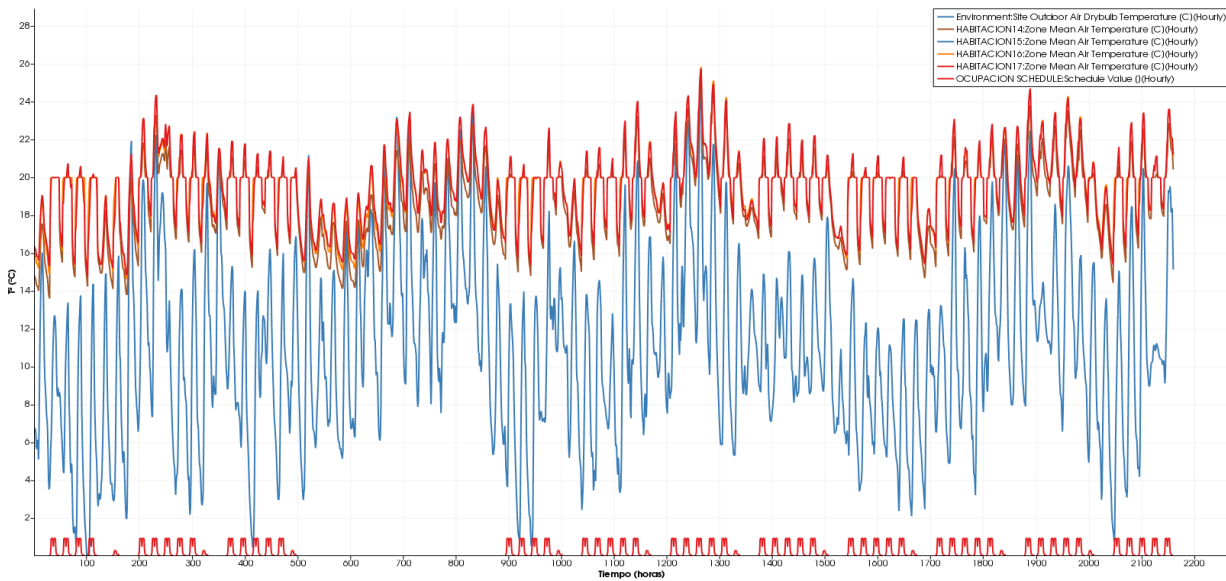


Figura 10.1. Representación de la temperatura en 3 meses con rango de temperaturas fijo.

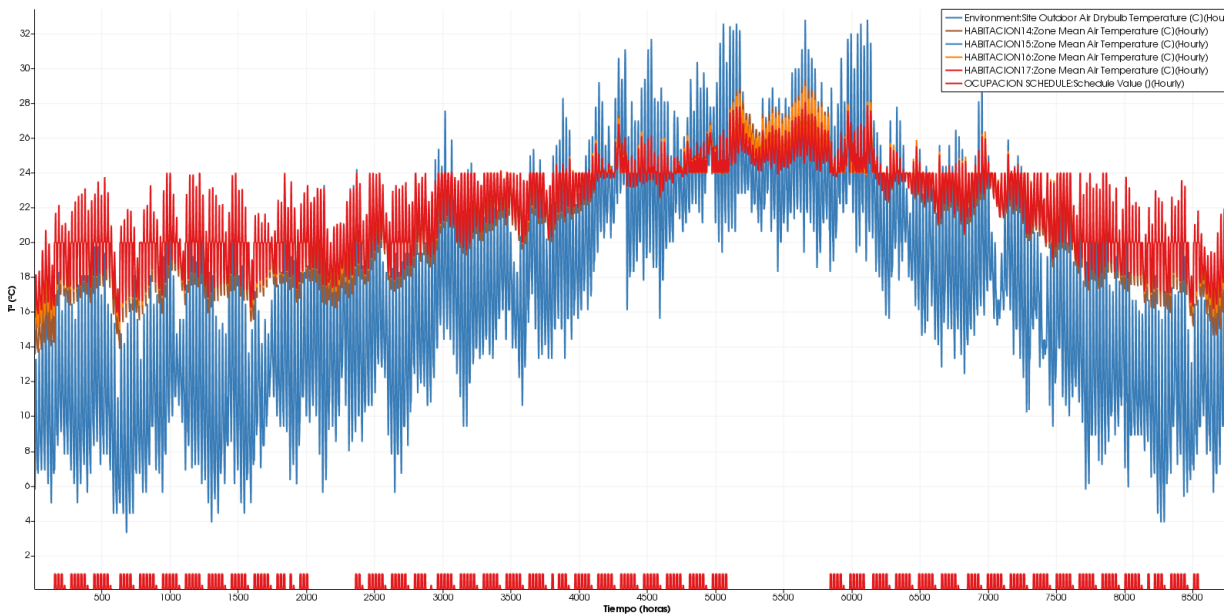


Figura 10.2. Representación de la temperatura anual con rango de temperaturas fijo.



Se observa como en ambos casos se conserva la temperatura entre los rangos fijados con lo cual se puede proceder a analizar los consumos. En este caso solo interesa analizar el consumo para 3 meses de funcionamiento ya que es donde se tienen datos de valores de consigna asignados por el trabajador.

Consumo Con consigna	Electricity [kWh]	Consumo Con termostato	Electricity [kWh]
Heating	1542.24	Heating	1666.8
Cooling	0.00	Cooling	0.00
Interior Equipment	6979.88	Interior Equipment	7852.85
Fans	131.86	Fans	270.96
Total End Uses	8653.98	Total End Uses	9789.9

El consumo es algo mayor si se fijan unos valores con el termostato, hay una mayor necesidad de energía debido a que los equipos funcionan durante más tiempo, aunque a un menor rendimiento.

Con esto se llega a la conclusión de que los trabajadores del edificio Pleiades realizaron un buen uso de los equipos, es decir, no dejaron los equipos encendidos, no pusieron los equipos a funcionar a su máxima capacidad y únicamente fueron conectados cuando eran necesarios. Siempre que se haga un buen uso de las consignas y el trabajador intente ser consciente de la eficiencia del edificio, será útil dar al consumidor la opción de regular su termostato, sin embargo si no se lleva cuidado, el consumo se puede disparar y dependiendo de en qué casos es interesante fijar unos valores con un termostato durante las horas de trabajo. Además, con unos valores ya fijados el trabajador no puede realizar horas extra ni recuperar horas en una zona climatizada lo cual dificulta no solo el bien estar del trabajador sino el estado de ánimo del mismo. Por tanto, se pueden distinguir ventajas e inconvenientes en esta propuesta.

Ventajas: No se depende del trabajador. No hay picos de energía. Se mantiene una confortabilidad general.

Inconvenientes: Solo hay climatización en las horas fijadas. Menos libertad al trabajador. Funcionando siempre, aunque no haya nadie.

Por tanto, aunque esta medida resultaría adecuada en otro tipo de edificios, se decide rechazar esta propuesta ya que estaba funcionando de forma óptima mediante termostato.



10.2 REDUCIR O AUMENTAR EL TAMAÑO DE LAS VENTANAS

En esta propuesta se trata de reducir la superficie de ventanas de las habitaciones a la mitad. Con esta mejora se busca aumentar la sombra y disminuir la transmisión de calor que producen las ventanas. No se modificarán las infiltraciones y la ventilación será la misma para que no se vean modificados otros factores. Únicamente la energía transmitida por las ventanas.

Se modifica la geometría de las ventanas que pasan de tener 70 a 35 cm de alto.

Por tanto, se analizan las pérdidas y ganancias que aportaban antes y después de la modificación para 3 meses y 1 año de funcionamiento.

3 meses 70 cm	Window Heat Addition [kWh]	Window Heat Removal [kWh]	Total [kWh]
HABITACION14	448.377	-69.52	378.857
HABITACION17	1181.968	-237.18	944.788
HABITACION15	822.530	-139.54	682.99
HABITACION16	827.899	-132.83	695.069

3 mese 35 cm	Window Heat Addition [kWh]	Window Heat Removal [kWh]	Total [kWh]
HABITACION14	224.816	-33.62	191.196
HABITACION17	598.396	-115.78	482.616
HABITACION15	415.261	-66.89	348.371
HABITACION16	418.989	-62.98	356.009

1 año 70 cm	Window Heat Addition [kWh]	Window Heat Removal [kWh]	Total [kWh]
HABITACION14	1512.815	-200.72	1312.095
HABITACION17	4044.990	-573.20	3471.79
HABITACION15	2768.407	-391.72	2376.687
HABITACION16	2777.087	-392.58	2384.507

1 año 35 cm	Window Heat Addition [kWh]	Window Heat Removal [kWh]	Total [kWh]
HABITACION14	761.137	-99.64	661.497
HABITACION17	2052.237	-280.22	1772.017
HABITACION15	1399.533	-190.01	1209.523
HABITACION16	1406.715	-190.76	1215.955

En ambos casos se observa una reducción del calor que entra al sistema a través de las ventanas para todas las habitaciones por tanto se realiza un análisis de la energía global para ver cómo afecta este suceso. Hay que destacar que las ventana reducidas no dan al exterior por lo que no reciben corrientes de viento y tampoco reciben directamente el sol por la sombra proyectada del edificio de al lado.



Consumo Para 3 meses con 30 cm	Electricity [kWh]
Heating	1757.79
Cooling	0.00
Interior Equipment	6979.88
Fans	145.31
Total End Uses	8882.99

Consumo Para 1 año con 30 cm	Electricity [kWh]
Heating	2965.17
Cooling	2543.04
Interior Equipment	25623.49
Fans	1137.49
Total End Uses	32269.19

Se ha producido un aumento en el consumo de calefacción que aumenta demasiado el consumo global por tanto es preciso analizar que sucede si se aumenta el tamaño de ventanas.

De la misma forma se analizan las pérdidas y ganancias de las ventanas para un tamaño de ventana de 105 cm

3 meses 105 cm	Window Heat Addition [kWh]	Window Heat Removal [kWh]	Total [kWh]
HABITACION14	671.641	-108.49	563.151
HABITACION17	1754.744	-367.22	1387.524
HABITACION15	1222.063	-219.41	1002.653
HABITACION16	1228.451	-210.60	1017.851

1 año 105 cm	Window Heat Addition [kWh]	Window Heat Removal [kWh]	Total [kWh]
HABITACION14	2265.321	-316.51	1948.811
HABITACION17	6004.105	-906.21	5097.895
HABITACION15	4113.454	-624.73	3488.724
HABITACION16	4122.114	-625.57	3496.544

Consumo Para 3 meses con 105 cm	Heating	Cooling	Interior Equipment	Fans	Total End Uses
Electricity [kWh]	1351.00	0.00	6979.88	116.82	8447.71

Consumo Para 1 año con 105 cm	Heating	Cooling	Interior Equipment	Fans	Total End Uses
Electricity [kWh]	2120.18	3513.17	25623.49	1168.64	32425.48



Si se aumenta el tamaño de las ventanas se produce una reducción de la calefacción y por tanto el consumo global en 3 meses se reduce, pero en cuanto al consumo anual no disminuye debido a que la refrigeración aumenta bastante.

En conclusión, se decide anular esta propuesta de mejora ya que las ventanas tienen un tamaño óptimo desde el punto de vista energético. Ni aumentar, ni reducirlas reducen el consumo del edificio.

10.3 DISMINUIR LA INFILTRACIÓN

Se tratará de reducir la infiltración de las habitaciones a la mitad. Con esta mejora se busca mejorar la conservación de la temperatura en la zona. No se modificarán otros aspectos de la geometría o de ocupación. Para reducir la infiltración en la realidad se eliminarían los espacios entre puertas y ventanas y se trataría de mantenerlas cerradas.

Por tanto, se analizan igual que en el caso anterior la energía ganada y perdida por dicha infiltración y posteriormente los balances de consumo global.

3 meses Mitad de infiltración	Infiltration Heat Addition [kWh]	Infiltration Heat Removal [kWh]	Total [kWh]	1 año Mitad de infiltración	Infiltration Heat Addition [kWh]	Infiltration Heat Removal [kWh]	Total [kWh]
HABITACION14	0.722	-1515.90	-1515.18	HABITACION14	132.136	-3894.24	-3762.1
HABITACION17	0.000	-3167.31	-3167.31	HABITACION17	241.859	-6799.89	-6558.03
HABITACION15	0.052	-1525.45	-1525.4	HABITACION15	134.758	-3977.17	-3842.41
HABITACION16	0.044	-1507.35	-1507.31	HABITACION16	134.682	-3978.73	-3844.05

Consumo Para 3 meses	Heating	Cooling	Interior Equipment	Fans	Total End Uses
Electricity [kWh]	392.91	0.00	6979.88	44.58	7417.37

Consumo Para 1 año	Heating	Cooling	Interior Equipment	Fans	Total End Uses
Electricity [kWh]	151.48	3574.17	25623.49	1226.73	30575.87



Con esta reducción de infiltración solo sería necesaria la calefacción en momentos puntuales. Esto hace que el consumo global se reduzca mucho a pesar de que la refrigeración aumente. Por tanto tratar de reducir la infiltración de la zona con medidas como no tener las puertas y ventanas abiertas ayudaría ahorrar en energía. Esta sería una buena propuesta de mejora.

10.4 AUMENTAR O DISMINUIR LA CAPA DE AISLAMIENTO

Esta propuesta de mejora consiste en aumentar el aislamiento de los muros a fin de reducir la transmisión de calor, hay que tener en cuenta que las salas contiguas se encuentran climatizadas a la misma temperatura. Los valores de aislamiento que se modifican en este apartado son:

- Lana de roca de las paredes exteriores de 0,04 m a 0,08 m.
- Placa de yeso techo de 0,013 m a 0,026 m.

Consumo Para 3 meses	Electricity [kWh]
Heating	1521.57
Cooling	0.00
Interior Equipment	6979.88
Fans	130.71
Total End Uses	8632.17

Consumo Para 1 año	Electricity [kWh]
Heating	2429.02
Cooling	2994.19
Interior Equipment	25623.49
Fans	1139.34
Total End Uses	32186.03

El aumento de aislamiento produce que haya una mayor conservación del calor con lo cual se disminuye el consumo de calefacción y se aumenta el de refrigeración. Estas variaciones son muy pequeñas por lo que se decidiría no aplicar esta propuesta.

Además, el hecho de tener una fachada ventilada hacer que la incidencia del sol no sea directa y que se favorezca mucho la conducción del calor. Esta es una de las razones por las que el aislamiento no modifica mucho el calor almacenado.

Otra razón sería la masa térmica de un edificio tan grande. Se produce una conservación de la energía por el simple hecho de tener tantas zonas climatizadas y tantos equipos funcionando, este aspecto influye más que el aislamiento.



10.5 MODIFICAR LA POTENCIA DE VENTILADORES

Parte del consumo de los equipos se debe a que cuando los equipos funcionan durante un tiempo prolongado por lo que se precisa analizar qué ocurre si se da un margen mayor a los ventiladores a la hora de trabajar. Para ello se utilizan unos ventiladores con las siguientes características:

	Type	Total Efficiency [W/W]	Delta Pressure [pa]	Max Air Flow Rate [m3/s]	Rated Electric Power [W]	Rated Power Per Max Air Flow Rate [W-s/m3]	Motor Heat In Air Fraction	End Use
FANONOFF1.14	Fan:OnOff	0.73	255.00	1.20	419.18	349.32	1.00	General
FANONOFF1.17	Fan:OnOff	0.73	255.00	1.20	419.18	349.32	1.00	General
FANONOFF1.15	Fan:OnOff	0.73	255.00	1.20	419.18	349.32	1.00	General
FANONOFF1.16	Fan:OnOff	0.73	255.00	1.20	419.18	349.32	1.00	General

A continuación se analiza el consumo como en los casos anteriores.

Consumo Para 3 meses	Electricity [kWh]
Heating	1519.58
Cooling	0.00
Interior Equipment	6979.88
Fans	173.79
Total End Uses	8673.26

Consumo Para 1 año	Electricity [kWh]
Heating	2416.43
Cooling	3128.86
Interior Equipment	25623.49
Fans	1546.87
Total End Uses	32715.65

Con unos ventiladores de mayor capacidad no se aprecia cambios significativos en los consumos, porque, aunque se reduce la necesidad de calefacción aumenta la energía consumida por los ventiladores por lo que se desecha esta propuesta de mejora.



10.6 CAMBIO A UN HORARIO NOCTURNO

En esta propuesta se analiza la posibilidad de cambiar el horario de trabajo a por la noche para aprovechar las diferencias de temperatura entre la noche y el día, aunque en este caso no es práctico por la rutina de los trabajadores, esta propuesta podría darse en una empresa o en un laboratorio donde se trabajen las 24 h.

En primer lugar, se crea un horario nocturno de trabajo donde se tienen las mismas horas pero se intenta aprovechar la noche. Figura 10.3

Y se simula el año entero con este horario para ver los consumos y los posibles cambios en refrigeración y calefacción. Se ha decidido no simular los 3 meses de calefacción ya que este modelo funciona con los valores de consigna y no con los horarios de ocupación.

Consumo Para 1 año	Electricity [kWh]
Heating	2501.83
Cooling	3023.04
Interior Equipment	25623.49
Fans	1150.85
Total End Uses	32299.22

Obj15
Ocupacion Scheduling
Fraction
Through: 12/31
For: Weekdays
Until: 01:00
0,5
Until: 05:00
0,95
Until: 06:00
0,3
Until: 8:00
0,1
Until: 12:00
0,05
Until: 18:00
0
Until: 19:00
0,1
Until: 20:00
0,2
Until: 24:00
0,95

Figura 10.3. Horario nocturno

El consumo total no se ha reducido por lo tanto no interesa cambiar el horario de trabajo. En algunos casos donde los consumos son muy elevados es rentable cambiar los horarios debido a que la tarifa nocturna de electricidad es algo más reducida.

10.7 CAMBIAR LA ORIENTACIÓN DE LAS SALAS

Para esta propuesta se va a variar la orientación de las habitaciones en Norte, Sur, Este y Oeste.

Actualmente se encuentra orientado a -20° Norte por lo que esta orientación se considera como el Norte, -200° se considera orientación Sur, -110° será la orientación Oeste y -290° la orientación Este.

Se comienza simulando Sur, Oeste y Este del edificio y se compara con la orientación Norte. Figuras 10.4, 10.5 y 10.6

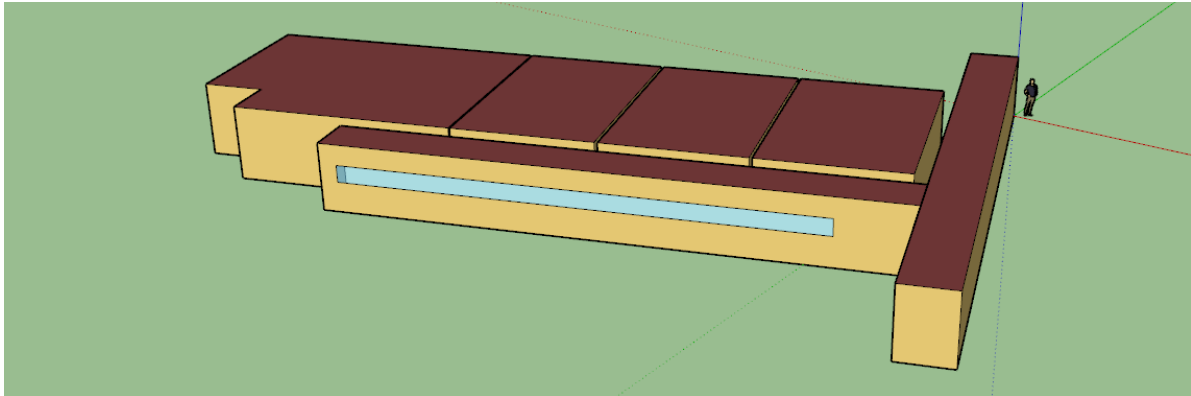


Figura 10.4. Orientación Sur.

Consumo Para 3 meses	Heating	Cooling	Interior Equipment	Fans	Total End Uses
Electricity [kWh]	1922.74	0.00	6979.88	156.57	9059.20

Consumo Para 1 año	Heating	Cooling	Interior Equipment	Fans	Total End Uses
Electricity [kWh]	3194.19	2501.95	25623.49	1128.45	32448.08

Esta orientación aumenta el consumo de calefacción por lo que aumenta el consumo general, por tanto es menos eficiente para el edificio.

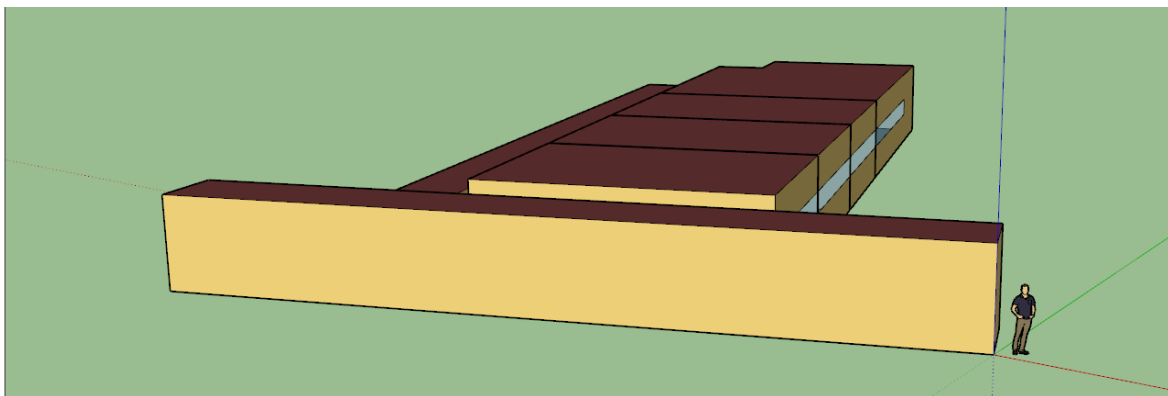


Figura 10.5. Orientación Oeste.

Consumo Para 3 meses	Heating	Cooling	Interior Equipment	Fans	Total End Uses
Electricity [kWh]	1905.46	0.00	6979.88	154.28	9039.63

Consumo Para 1 año	Heating	Cooling	Interior Equipment	Fans	Total End Uses
Electricity [kWh]	3138.87	2953.63	25623.49	1128.45	32916.95



De la misma forma esta orientación aumenta el consumo tanto de calefacción como de refrigeración por lo que aumenta el consumo general, por tanto es menos eficiente para el edificio.

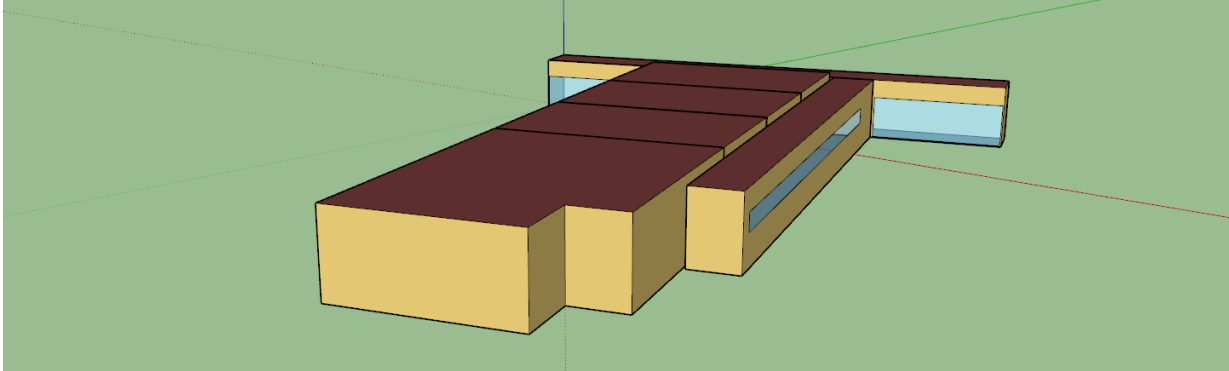


Figura 10.6. Orientación Este

Consumo Para 3 meses	Heating	Cooling	Interior Equipment	Fans	Total End Uses
Electricity [kWh]	1752.32	0.00	6979.88	143.17	8875.37

Consumo Para 1 año	Heating	Cooling	Interior Equipment	Fans	Total End Uses
Electricity [kWh]	2829.70	3193.50	25623.49	1195.56	32842.25

Esta orientación tampoco mejora el consumo de la orientación inicial por lo que se puede afirmar que se ha escogido la orientación adecuada (Norte) a la hora de proyectar el edificio Pleiades.

En resumen se considera que el edificio inicialmente se encuentra bien optimizado. La mayoría de propuestas de mejora que se han analizado se realizaban con un coste reducido.

Se podrían realizar otras como comprar equipos más eficientes, uso de energía renovable propia o eliminar cargas eléctricas internas mediante uso de elementos que consuman y produzcan menos calor pero estos planteamientos precisan de un estudio económico que verifique la rentabilidad debido a que en muchos casos es mayor el coste de comprar esta tecnología que lo que se consigue de ahorro energético.



11. CONCLUSION

En términos generales el edificio Pleiades ha estado funcionando de acuerdo con la idea de operatividad que fue creada, es decir, como unos laboratorios donde un número reducido de personas trabajaran con ordenadores y equipos electrónicos. Esta hipótesis ha sido refutada mediante un modelo que ha sido ajustado con bastante precisión.

Durante el proceso de desarrollo de este proyecto se ha creado un modelo al que se han ido añadiendo los máximos datos posibles. Una vez se conocía la geometría mediante el proyecto de edificación, se ha recurrido al proyecto de ingeniería para conocer los equipos. Cuando ya se tenía totalmente modelado el sistema se recogió información del personal de la zona, como horarios, ocupaciones, aparatos eléctricos, etc. Se ha simulado este laboratorio ideal pero se encontró el problema de que no se respetaba esa regularidad de la que se había recogido toda la información. Es aquí donde hay que destacar la importancia de las tecnologías IoT.

A pesar de que el personal trató de explicar cómo trabajaban y de qué forma lo hacían, únicamente se podía llegar al nivel de exactitud requerida si se conocían los datos de funcionamiento de los equipos y de las salas. Por tanto, gracias a las tecnologías IoT se obtuvieron magnitudes como temperaturas, CO₂, humedad, etc. Con estos valores de las salas y otros exteriores como los de temperatura en Murcia (obtenida de la misma forma por la US).

Se logra modelar tres meses de trabajo reales (diciembre, enero y febrero) a través de un sistema que no se encarga de predecir valores sino de tomar los datos proporcionados por los sensores IoT y reproducirlos ajustándolos a un modelo a escala previamente definidos. Con este proceso se obtienen valores muy aproximados de calefacción y por tanto se puede conocer la eficiencia energética del edificio.

Una vez que ya se tiene el modelo ajustado se puede realizar una predicción para un año de funcionamiento de las salas fijando unos valores de climatización y así predecir cuales van a ser los consumos y establecer el rendimiento de los equipos. Además con este estudio se pueden proponer algunas mejoras y asumir si aumentarían la eficiencia o simplemente si las salas se encuentran en un estado óptimo de rendimiento.

En definitiva, se debe recalcar que con los recursos disponibles (software, planos, personal, etc.) se puede realizar un estudio exhaustivo e incluso predicciones con únicamente tres meses de funcionamiento gracias a la labor de recopilación mediante sensores y almacenamiento en una red de datos.

Como aportación principal se obtiene un modelo energético totalmente válido para regular el comportamiento de las salas y que podría funcionar como una unidad independiente al edificio, es decir, se pueden conocer los valores y comportamiento de las salas únicamente con los datos de temperaturas exteriores y de consigna lo que abre un amplio campo de posibilidades en la domotización de los laboratorios.



12. TRABAJOS FUTUROS.

Actualmente el concepto de casa domótica se plantea como la interconexión de elementos de una sala, donde el usuario proporciona órdenes. Pero podría darse un paso más, es decir, que la sala se autorregulase sin necesidad de un emisor, a través de sensores que recojan información, la almacenen y sea procesada mediante el modelo debidamente conectado. Llegando a conseguir el equilibrio entre confort y ahorro que se busca mediante la eficiencia, y despreocupando al usuario de introducir información o de apagar y encender los equipos.

A partir del modelo proporcionado se podría llegar a domotizar completamente las salas, en cuanto a energía se refiere, gracias a la capacidad que posee el software de predecir con exactitud, es decir, el sistema es capaz de saber cuándo va a hacer frío o calor o si el ambiente va a estar muy saturado.

Con una correcta instalación se puede llegar a anticipar estos sucesos de variación de temperaturas y así poner en funcionamiento los equipos muchos antes de que esto se produzca lo que supone una mayor sensación de confort y un ahorro energético importante.

Además se podría llegar a predecir otros valores a partir de este modelo como:

- Apertura automática de ventanas y puertas. Se podría llegar a conocer casos en los que es beneficioso abrir puertas o ventanas antes que encender un equipo de climatización.
- Regulación de infiltración de aire en la sala. Con el análisis y la interpretación de la saturación de la sala se puede regular mediante ventilación la infiltración de la zona lo que beneficia a la confortabilidad y ahorro de la zona.
- Regulación de iluminación en función de la iluminación externa e interna sin necesidad de sensores.

Por otra parte, como futuras líneas de investigación para otros proyectos, sería interesante obtener los modelos del resto de salas del edificio para poder hacer una valoración general y, de esta manera, llegado el momento, acometer las reformas adecuadas de forma global y optimizar los presupuestos asignados a base de un doble propósito fundamentado en el ahorro económico y energético. Así como la implantación de nuevos sistemas que continúen reduciendo el gasto energético, y de este modo el gasto económico.



13. REFERENCIAS.

- [1] Pacheco-Florez, Melisa, Melo-Poveda, Yormy Eliana, “Recursos naturales y energía. Antecedentes históricos y su papel en la evolución de la sociedad y la teoría económica. Energética”, Junio 2015.
- [2] Mercedes Arroyo, “Nuevas fuentes de energía para un futuro sostenible, ¿Petróleo o protección del medio? “, X Coloquio Internacional de Geocrítica, Barcelona, 26 - 30 de mayo de 2008.
- [3] Creus Solé, A. *Energías Renovables*. S.L. Ediciones Cano Pina. Barcelona: CEYSA 2004.
- [4] T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, P. Midgley. “Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change.” Cambridge University Press Cambridge, United Kingdom and New York. NY, USA 2013.
- [5] I. Montesinos Burgos, “Estudio de la eficiencia energética de una vivienda unifamiliar” TFG, Desarrollo de proyectos de construcción, Universidad Politécnica de Valencia, 2014.
- [6] J. González Velasco, *Energías Renovables*. Reverte, Barcelona 2005.
- [7] “Eurosat” *Evolución de la intensidad energética en España vs UE*, 2014 [Online] Available: <https://www.eurosat.es>
- [8] Plan de acción, ahorro y eficiencia energética 2008-2012. IDEA
- [9] Plan de acción, ahorro y eficiencia energética 2011-2020. IDEA
- [10] M. Castro Sola, “Internet de las Cosas. Privacidad y seguridad” TFG, Informática, Universidad Politécnica de Jaén, 2016.
- [11] “Certificados energéticos” *Programas oficiales para la certificación energética de edificios ¿Cuál utilizo?*, 2016 [Online] Available: <https://www.certificadosenergeticos.com>
- [12] “Asociación de la Industria del Poliuretano” *Certificación energética en distintos países de la Unión Europea*, 2013 [Online] Available: <https://aislaconpoliuretano.com>
- [13] “OVACEN” *Programas para la simulación energética de edificios*, 2016. [Online] Available: <https://ovacen.com>
- [14] D.B. Crawley, J.W. Hand, M. Kummert, B.T. Griffith, *Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs* pp. 661-673. Elsevier, Abril 2008.
- [15] D. López-Pintor Martí, “Análisis de Casos de Estudio sobre Industria 4.0” Tesina Fin de Máster, Informática, Universidad Politécnica de Valencia, 2016.
- [16] “Estudiantes El País” *Entropy, una solución eficaz al consumo eléctrico*, 2015 [Online] Available: <https://estudiantes.elpais.com>



- [17] "Entropy" *Proyecto*, 2015 [Online] Available: <http://entropy-project.eu/overview>
- [18] "Energy Plus" *Energy Plus, Introduction* 2012 [Online] Available: <https://energyplus.net>
- [19] A. Gonzalo Vivancos "Proyecto Pleiades" Campus de Espinardo Murcia, Proyecto de reforma y acondicionamiento del centro multidisciplinar en biociencias. 2016.
- [20] J.J. Marín Lorca "Proyecto Pleiades" Instaladores Reunidos, Alcantarilla (Murcia), Proyecto de climatización y ventilación. Octubre, 2013.
- [21] T. Kershaw, M. Eames, D. Coley, *Assessing the risk of climate change for buildings: A comparison between multi-year and probabilistic reference year simulations* pp. 1303-1308 Elsevier, Junio 2011.
- [22] "Energy Plus" *Energy Plus, Datos meteorológicos por región* 2009 [Online] Available: <https://energyplus.net>
- [23] P. Hancevic, "Consumo residencial de electricidad y eficiencia energética. Un enfoque de regresión cuantílica" México, Diciembre 2015.
- [24] "ASHRAE 55" *ASHRAE 55* 2004 [Online] Available: <https://www.ashrae.org>
- [25] M. A. Acedo Zambrana, *Mantenimiento de sistemas de climatización*. IC editorial, Madrid 2014.
- [26] B. Boardman, *Home Truths: A Low-carbon Strategy to Reduce UK Housing Emissions by 80% by 2050*. University of Oxford University of Oxford's Environmental Change Institute Oxford, 2007.



14. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- [1] DOCUMENTO. “Estrategia a largo plazo para la rehabilitación energética del sector de la edificación en España”. Ed. Ministerio de Fomento. Madrid junio de 2014.
- [2] Francisco Javier Rey Martínez y Eloy Velasco Gómez; (2006), Eficiencia energética en edificios. Madrid, España: Editorial Paraninfo.
- [3] Julio Calle Cabrero; (2014), SketchUp Pro: manual básico: manual práctico de aprendizaje y referencia. España. Iscar Software De Arquitectura
- [4] Lorena Druet, M^a del Carmen Bocanegra Yáñez, Nicolás Ordóñez Ordóñez y José Santiago Villar: (2011), Guía de Edificios Residenciales de Alta Calificación Energética e integración de energías renovables. Málaga, España: Fundación HABITEC
- [5] Manual ASHRAE 2012 - Sistemas y equipos HVAC (SI)
- [6] Martínez, F.J. y Velasco Gómez, E. (2006). Eficiencia Energética en Edificios. Certificación y Auditorías energéticas. Madrid. Editorial Paraninfo.
- [7] Michael J. Moran y Howard N. Shapiro; (2016), Fundamentos de termodinámica técnica. Barcelona, España: Editorial Reverté, S.A.
- [8]http://www.ebmpapst.com/media/content/info-center/downloads_10/catalogs/axial_fans_1/Axial_fans_2007_EN.pdf
- [9]<https://www.designbuilder.co.uk/helpv4.2/Content/CalculatingFanPressureRise.htm>
- [10]<http://jfc.us.es/CALENER/calener-bd/videos.html>
- [11]<https://energyplus.net/>
- [12]<http://www.certificadosenergeticos.com/db-he-del-cte-y-como-justificarlo-en-5-pasos>
- [13]https://energyplus.net/weather-location/europe_wmo_region_6/ESP//ESP_Murcia.084300_SWEC
- [14]<http://www.minetur.gob.es>.
- [15]<http://entropy-project.eu/overview/>
- [16]<https://ovacen.com/programas-para-la-simulacion-energetica-de-edificios/>
- [17] Energy simulation in building design 2nd Edition, Oxford: Butterworth-Heinemann.
- [18] Terroso-Saenz, F.; González Vidal, A.; P. Ramallo-González, A. & F. Skarmeta, A. (2017), 'An open IoT platform for the management and analysis of energy data'.
- [19] USDoE, 2016, EnergyPlus Version 8.6 Documentation: Input Output Reference. Walter, E. Kämpf, J. H. (2015)