



Received: 07-11-2020
Accepted: 10-11-2020

Anales de Edificación
Vol. 6, N°3, 21-26 (2020)
ISSN: 2444-1309
Doi: 10.20868/ade.2020.4611

Tecnologías digitales para el análisis de edificios. Salud, confort y energía. Digital technologies for building analysis. Health, comfort and energy.

Martín Garín A.^a, Millán García J.A.^a, Albrecht . P.^b, Otxoa Errarte J.^b, Beraza Olabarrieta X.^c, Rodríguez Saiz Á.^d

^a IENEDI Research Group, Department of Thermal Engineering, Faculty of Engineering of Gipuzkoa, University of the Basque Country UPV/EHU, Plaza Europa 1, 20018, Donostia-San Sebastián, España. ^b A+O Architects. Txomin Agirre 1, 20018, Donostia-San Sebastián, España. ^c Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Guipúzcoa-COAATG, Paseo Árbol de Gernika nº 21, 20006, Donostia-San Sebastián, España. ^d Department of Architectural Constructions & Construction Engineering and Land, University of Burgos, C/Villadiego s/n, 09001, Burgos, España

Resumen—La digitalización de la edificación se ha convertido en una de las claves en el sector con el objeto de mejorar los flujos de trabajo y por ende mejorar su competitividad. No obstante, la digitalización per se es un importante desafío que a nivel operativo resulta difícil implementar debido a los múltiples obstáculos ante los que nos encontramos en el día a día. Debido a ello, las organizaciones deben de seguir la estrategia que mejor se ajuste a sus necesidades y que permita distinguir aquellas herramientas que realmente les ayuden a facilitar el trabajo. La presente investigación se centra en las conclusiones obtenidas a partir de la aplicación real de diversas tecnologías digitales durante los análisis energéticos llevados a cabo para el Ayuntamiento de Hernani (Gipuzkoa). A partir de los dos casos de estudio analizados, la propia Casa Consistorial y la Casa de Cultura de Biteri, se implementaron las tecnologías digitales que mejor se adaptaban a los trabajos a realizar. Entre ellas caben destacar, la monitorización higrotérmica mediante el desarrollo propio de dispositivos a través de impresión 3D, Plataformas de Código Abierto (OSP Open Source Platforms) y el Internet de la Cosas (IoT), la evaluación de la envolvente térmica mediante termografía infrarroja, termoflujometría y blower door test, la generación de gemelo digital de edificio histórico a través de la metodología BIM, y la evaluación del confort y la demanda energética de distintas medidas de intervención mediante software dinámico para la simulación energética de edificios. Del trabajo llevado a cabo se concluye que las herramientas empleadas han facilitado las tareas encomendadas de evaluación del comportamiento actual y las propuestas de rehabilitación de los edificios objeto de estudio. No obstante, también se ha detectado que los altos costes de adquisición de equipos, la necesidad de una formación muy específica o una normativa actual muy restrictiva pueden suponer importantes obstáculos que dificultan la implantación de estas tecnologías. Por lo tanto, si uno de los objetivos actuales es la implementación de herramientas digitales, establecer las rutas necesarias para tal fin se convierte en una prioridad para el sector de la edificación

Palabras Clave— Building Information Modeling; Eficiencia Energética; Internet Of Things; Monitorización De Edificios.

Abstract— The digitization of the building sector has become one of the keys in this area because it improves workflows and therefore improves its competitiveness. However, digitization per se is an important challenge that at an operational level is difficult to implement due to the multiple obstacles we face on a day-to-day basis. Therefore, organizations must follow the strategy that best suits their needs

and that allows distinguishing those tools that really help them to facilitate their work. This research focuses on the conclusions obtained from the real application of various digital technologies during the energy analysis carried out for the Hernani City Council (Gipuzkoa). For both case studies analysed, the Town Hall itself and the House of Culture of Biteri, the digital technologies that best adapted to the work were implemented. These included hygrothermal monitoring with the own developed devices by 3D printing, Open Source Platforms (OSP Open Source Platforms) and the Internet of Things (IoT), the evaluation of the thermal envelope using infrared thermography, heat flow metering and blower door test, the generation of a historic building's digital twin with the BIM methodology, and the evaluation of comfort and energy demand of different intervention measures using dynamic software for the energy simulation of buildings. From the work carried out, it is concluded that the tools used have facilitated the tasks assigned to evaluate the current performance and the proposals for the refurbishment of the buildings under study. However, it has also been detected that high equipment acquisition costs, the need for very specific training or very restrictive current regulations can pose significant obstacles that hinder the implementation of these technologies. Therefore, as one of the current objectives is the implementation of digital tools, establishing the required routes for this purpose becomes a priority for the building sector.

Index Terms— Building Information Modeling, Energy Efficiency, Internet of Things, Building Monitoring.

I. INTRODUCCIÓN

Las tecnologías tienen una importancia cada vez mayor en nuestra vida cotidiana y en las actividades rutinarias en las que gradualmente se está introduciendo cada vez más información en tiempo real. Por otro lado, el entorno cada vez más globalizado, está obligando a las empresas de distintos sectores a una continua mejora de sus procesos de trabajo con objeto de mantener la competitividad.

Sin embargo, el sector de la construcción se considera uno de los menos avanzados en comparación con otros sectores (Manyika et al., 2015). Para hacer frente a esta situación, la digitalización del sector se presenta como posible vía de alternativa donde las nuevas tecnologías emergentes están adquiriendo una notable relevancia mejorando así los flujos de trabajo (Kaufmann et al., 2018). Entre dichas tecnologías, cabe destacar las siguientes: la metodología Building Information Modeling (BIM) para el desarrollo de modelos virtuales e inteligentes de los edificios, el uso de RPAS (Remotely Piloted Aircraft Systems) y escáner laser 3D para la recopilación exhaustiva de geometrías existentes, la fabricación aditiva y modelos de Realidad Virtual (VR) y Aumentada (AR) para la representación de modelos constructivos o la sensorización mediante el Internet de las Cosas (IoT-Internet of Things) para el control y la recopilación de datos en tiempo real.

Fruto de estos nuevos avances y conocidas las ventajas que ofrecen estas tecnologías emergentes, recientemente ha sido publicada la nueva Directiva Europea en materia de eficiencia energética (European Parliament, 2018), donde también se aboga por la implementación de los procesos digitales en el sector de la construcción con el objeto de reducir el consumo energético de los edificios. De acuerdo con el informe del IEA (IEA Digitalization, 2017), la digitalización de los edificios podría reducir el uso de energía aproximadamente un 10% mediante el uso de datos en tiempo real para mejorar la eficiencia operativa. Esto demuestra inequívocamente que la digitalización no es un objetivo en sí mismo, sino un medio para alcanzar las prioridades de la Unión Europea.

El objetivo de la presente investigación consiste en analizar el marco estratégico para la adopción de tecnologías digitales

con el propósito de analizar edificios existentes. En este contexto, debido a la gran multitud de herramientas disponibles, la principal intención es la identificación de aquellas que mejor se adecúen al objeto de estudio. Para ello, se consideró oportuno la aplicación de la metodología en dos casos de estudio con el objeto de verificar su correcta adecuación. Dichos casos son el edificio del Ayuntamiento y la Casa de Cultura de Biteri del municipio de Hernani, Figura 01.

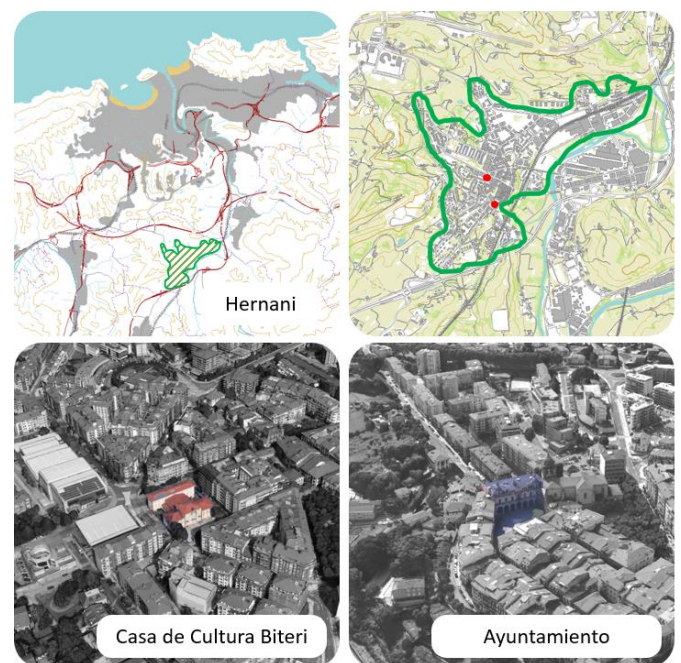


Fig. 1. Casos de estudio

En ambos edificios se requirió un análisis global del conjunto con el objeto de proceder a la optimización de los recursos energéticos a partir de distintos posibles escenarios de rehabilitación energética. Para ello, se procedió a analizar ambos edificios tanto a nivel energético como de confort y se propuso implementar una metodología innovadora que permitiera afrontar dicho trabajo desde una nueva perspectiva.

Tradicionalmente, este tipo de trabajos específicos suelen ser tratados de manera aislada centrándose exclusivamente en los

aspectos energéticos y más aún al tratarse de edificios existentes donde no siempre cabe la posibilidad de recopilar datos que posteriormente pueden ser relevantes. Aspectos como levantamientos arquitectónicos, registros reales del comportamiento higrotérmico, modelos BIM o modelos energéticos (BEM-Building Energy Modeling) tienden a no ser llevados a cabo. No obstante, esto puede conllevar a posibles imprevistos, una menor definición del proyecto y en definitiva una pérdida en la calidad del trabajo ofertado. Todo ello ha generado la motivación para realizar la presente investigación y poder mostrar las ventajas que ha aportado el uso de tecnologías digitales.

Cabe destacar, que el objeto de la presente investigación no estriba en el análisis de los resultados de las auditorías energéticas, sino que en mostrar la metodología llevada a cabo para la implementación de tecnologías digitales. La intención es la de exponer que la metodología llevada a cabo pueda ser aplicable en distintas áreas (diseño arquitectónico, seguimiento de obra, trabajos de especialidades ...) mediante nuevas tecnologías digitales que no tienen por qué ser las mismas que las empleadas en este estudio pero permiten también mejorar los flujos de trabajo.

II. METODOLOGÍA

La Figura 2 muestra la metodología aplicada durante la investigación. Como todo estudio técnico en el ámbito de construcción, se hace necesaria una fase preliminar que permita recopilar toda la información documental necesaria que facilite el posterior análisis.

La segunda fase se encuentra relacionada con el propio levantamiento arquitectónico, y es donde han comenzado a emplearse tecnologías digitales. Para ello, junto con la documentación existente de archivos, se ha hecho uso en primer lugar de la tecnología de fotogrametría. Mediante este procedimiento se han generado las nubes de puntos de los edificios existentes que posteriormente han servido como patrón de referencia para el modelado BIM.

La tercera fase se ha centrado en la obtención de datos reales energéticos de los casos de estudio. Para ello se ha procedido a realizar ensayos blower door test, termografía infrarroja, ensayo de termoflujometría para la determinación de la transmitancia térmica y por último, siguiendo la línea de investigación de anteriores trabajos, la monitorización higrotérmica a partir de plataformas de código abierto (OSP) y el Internet de las Cosas (IoT) (Martín-Garín et al., 2018a; Martín-Garín et al., 2018b).



Fig. 2. Metodología de trabajo

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Documentación inicial y levantamiento arquitectónico

Como se ha citado anteriormente, una de las primeras tareas fue la comprensión de los edificios tanto a nivel geométrico (interior y exterior) como de definición de espacios y usos. Debido al carácter de los edificios y a la titularidad pública de los mismos, los usos interiores resultan ser muy variados: administrativo, archivo, cultural, servicios, biblioteca etc. Todo ello generaba una dificultad para el posterior análisis energético, por lo que una definición y comprensión exhaustiva permitiría una adaptación más adecuada de las medidas a plantear.

En consecuencia, se decidió establecer un flujo de trabajo capaz de recopilar, gestionar y generar la información necesaria para ambos proyectos, Figura 3. A partir del software Autodesk Revit se generaron los modelos BIM desarrollando así los modelos digitales de los edificios. En una primera fase, y para poder crear los modelos, se recopiló información mediante dos vías. La primera de ellas a partir de la información obtenida a partir de los archivos, las visitas in-situ, las consultas a los propietarios y a los usuarios. Y la segunda de ellas, relacionada con la definición geométrica mediante la obtención de nubes de puntos a partir de fotogrametría.

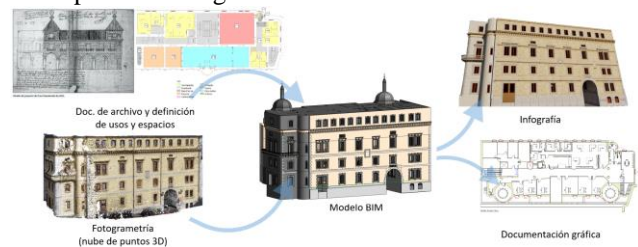


Fig. 3. Levantamiento arquitectónico BIM del Ayuntamiento de Hernani.

Como puede observarse, al tratarse de edificios históricos, el grado de complejidad para la definición geométrica de detalles de fachadas resulta ser elevado, sin embargo, la nube de puntos generada sirvió como plantilla de trabajo facilitando enormemente la definición geométrica. El uso de esta tecnología ofreció una clara ventaja respecto a los métodos tradicionales de toma de datos. La determinación de dimensiones y distancias en el propio modelo, la ubicación de los elementos constructivos, la propia definición geométrica o el ahorro de tiempo producido por el menor número de visitas necesarias son algunas de las ventajas a destacar.

Sin embargo, cabe mencionar que algunas zonas no pudieron ser definidas con gran precisión debido a que la toma de datos se realizó mediante cámara digital desde el terreno, aspecto que limita en cierta medida la recopilación de datos en puntos singulares (balcones, esquinas, cubiertas...). La ubicación en núcleo urbano de los casos de estudio y la actual normativa impidieron utilizar la fotografía aérea mediante un RPAS. Además, experiencias propias mediante vuelos aéreos planificados han mostrado que con un menor número de fotografías es posible la obtención de nubes de puntos con una mayor calidad ya que se dispone una visión total del elemento a fotografiar.

B. Ensayos energéticos

Una vez determinada la composición geométrica de los edificios se procedió a su caracterización energética mediante una serie de ensayos, Figura 4.

En primer lugar, la detección de fugas térmicas se llevó a cabo mediante termografía infrarroja. Entre las descompensaciones térmicas destaca la detectada en la Casa de Cultura entre la planta baja y la primera Figura 4 A. La misma coincide con la distinta composición de fachada (doble hoja aislada con 4 cm de EPS) construida en el levante del año 1986 respecto al muro de mampostería revocada de planta baja del edificio original de 1907.

En una segunda fase, el análisis cualitativo ofrecido por la tecnología infrarroja fue complementada mediante el análisis cuantitativo del ensayo in-situ de termoflujometría, Figura 4 B, según la norma ISO 9869-1:2014. El ensayo permitió determinar la transmitancia térmica de las envolventes opacas de ambos edificios permitiendo así medir su grado de aislamiento, Figura 5 A.

El tercer tipo de ensayos realizados fueron con objeto de la determinación de la estanqueidad al aire para poder medir y detectar las fugas de aire a través de la envolvente del edificio mediante el método de blower door test, Figura 4 C. Debido al gran volumen y al bajo grado de estanqueidad de ambos edificios, el caudal requerido en el rango de diferencias de presión (20-70 Pa) para analizar el volumen completo de los edificios durante el ensayo hace inviable analizar los edificios en su conjunto. Como consecuencia se consideró oportuno analizar espacios representativos de manera aislada, Figura 5 C.

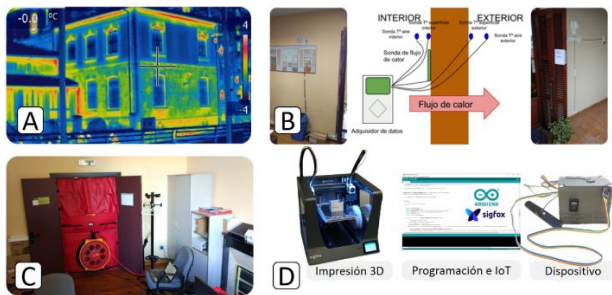


Fig. 4. Ensayos energéticos llevados a cabo (A: termografía infrarroja B: termoflujometría C: blower door test D: desarrollo de equipo de monitorización IoT).

Por último, una de las preocupaciones de la propiedad y los usuarios era el desconfort producido en el Salón de Actos de la Casa de Cultura. El programa cultural de dicho salón es muy amplio y con actividades diversas como actuaciones teatrales, musicales, exposiciones cinematográficas o conferencias. Fruto de ello, se decidió realizar una monitorización higrotérmica, con el objeto de cuantificar el ambiente higrotérmico que se producía en dicho recinto. Además de ello, se decidió desarrollar mediante impresión 3D, OSP y el IoT dispositivos propios para la monitorización dado el amplio grado de libertad

de desarrollo y adecuación a las necesidades específicas que ofrecen estas tecnologías, Figura 4 D.

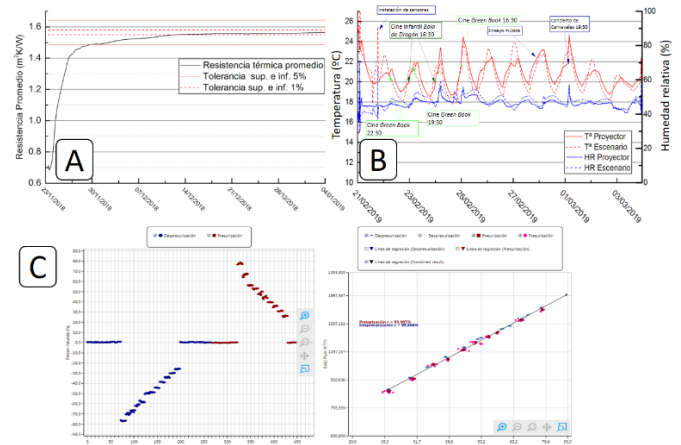


Fig. 5. Resultados de los ensayos energéticos de la Casa de Cultura de Biteri (A: termoflujometría B: monitorización higrotérmica C: blower door test).

El perfil higrotérmico monitorizado, Figura 5 B, junto con el registro de uso y aforo del Salón de Actos durante la semana de medición permitieron relacionar los resultados de desconfort térmico obtenidos con las causas. Las elevadas cargas interiores, producidas por la alta afluencia (periodos con ocupación de hasta 0.86 pers./m²) y por los equipos de iluminación de elevada potencia (picos de hasta 11 kW), y la falta de un sistema de ventilación y refrigeración resultaron ser el fruto del desconfort identificado por los usuarios y propietarios.

C. Análisis energético

Una vez realizada la caracterización energética mediante ensayos, se procedió a desarrollar los modelos BEM. A través del software de simulación dinámica DesignBuilder se desarrollaron los modelos multizona (Edificio del Ayuntamiento 36 zonas y Casa de Cultura 24 zonas) de la composición actual de los edificios y de su entorno, Figura 6. Los datos de consumo promedio de facturación disponible durante los años 2014 al 2018 permitieron verificar los resultados obtenidos mediante las simulaciones energéticas lográndose tan solo una desviación de entre el 2-3%.

Una vez analizados los consumos energéticos generales de los edificios, se determinó el grado de confort del estado actual. Para ello se tomó el modelo de confort adaptativo propuesto por la norma UNE EN 15251:2008 y se analizó cada una de las zonas determinando el número de horas anuales que no cumplen con el modelo propuesto según las tres categorías, Figura 7 A. De esta manera, los BEM permitieron analizar cada una de las zonas y detectar anomalías, para posteriormente poder analizar individualmente con mayor detalle cada una de las zonas, Figura 7 B.

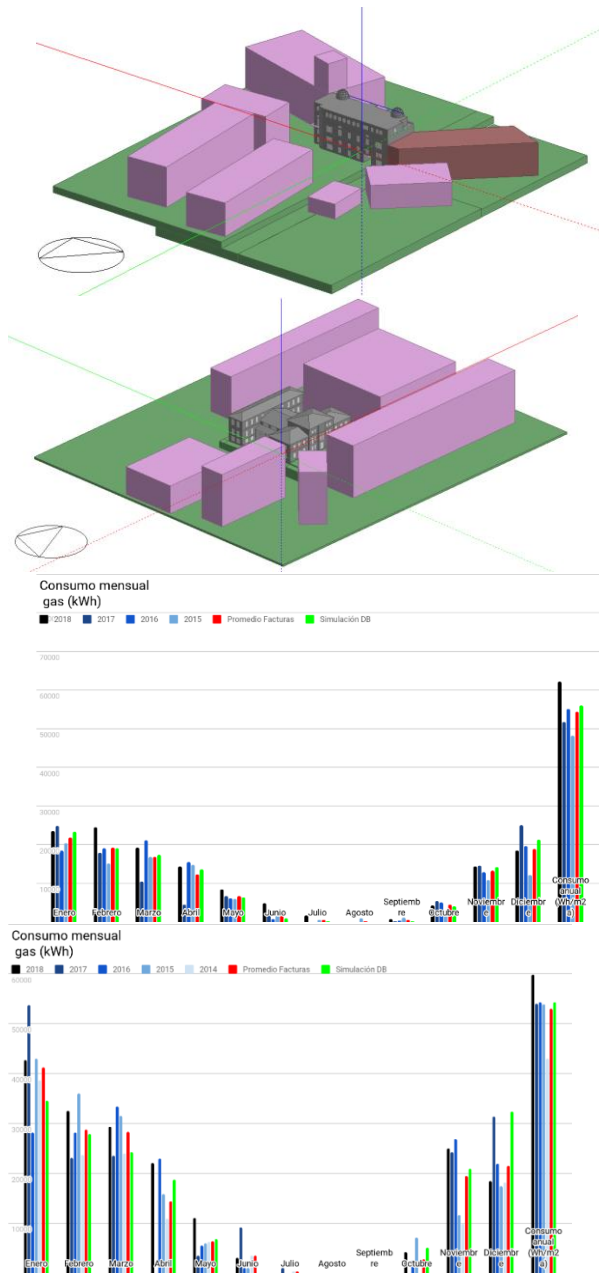


Fig. 6. Modelos Energéticos de los Edificios y consumos energéticos de calefacción (simulación frente a facturación).

Por último, con el objetivo de determinar la repercusión de las posibles medidas de rehabilitación energética, mediante los BEM se analizaron distintos escenarios, Figura 8. Entre las propuestas analizadas se tuvieron en cuenta intervenciones simples como la adición de aislamiento (Propuesta A) o la instalación de nuevas carpinterías con unidades de vidrio aislante simple (Propuesta B), con características bajo emisivas (Propuesta C) y de altas prestaciones con doble cámara (Propuesta D) y por otro lado las propuestas E y F que combinan la Propuesta A con la C y la D. De entre las principales conclusiones que se pudieron obtener, se destacan las siguientes:

- Un espesor de aislamiento de fachada mayor a 12 cm no mejoraba ostensiblemente el comportamiento energético del edificio.
- No se aprecian diferencias notables en términos energéticos entre el uso de vidrio triple frente a vidrio doble bajo emisivo.
- Existe riesgo de sobrecalentamiento en verano si no se toman las medidas oportunas (*free cooling* nocturno, protección solar, control de cargas interiores...) como resultado del mayor grado de aislamiento y estanqueidad al aire.
- A partir de la intervención combinada en fachada y carpinterías (Propuestas E y F) se lograría alcanzar una reducción de hasta el 50% del consumo energético de calefacción original.

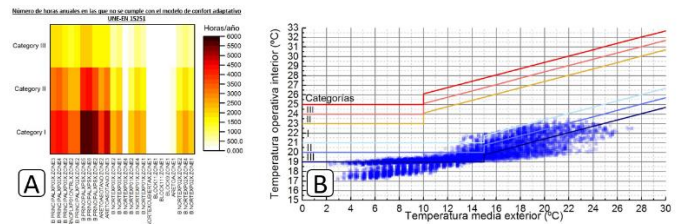


Fig. 7. Resultados del análisis de confort de la Casa de Cultura de Biteri mediante el modelo adaptativo de la norma UNE-EN 15251. (A: análisis anual de todas las zonas B: análisis horario de una zona)

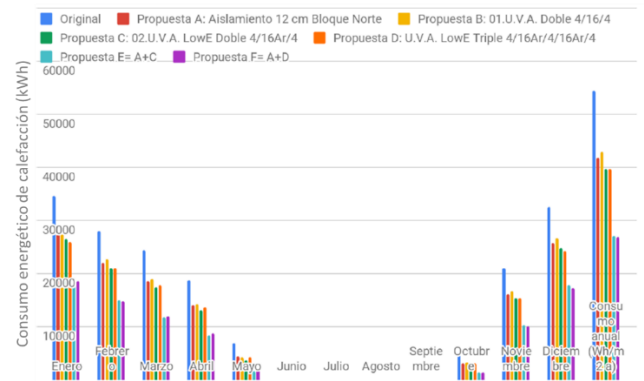


Fig.8. Evaluación del consumo energético de calefacción de las propuestas de rehabilitación energética de la Casa de Cultura de Biteri.

IV. CONCLUSIONES

La presente investigación tenía como objeto analizar la implantación de tecnologías digitales en los flujos de trabajo de edificios existentes. Se ha mostrado como a lo largo de cada una de las fases de trabajo se han podido implementar distintas herramientas que han facilitado las tareas a desarrollar durante los dos casos de estudio presentados.

Durante la investigación se han empleado herramientas digitales que pueden llegar a ser muy específicas del ámbito de la energética en la edificación. Sin embargo, otras de ellas también utilizadas son de ámbito más general y por lo tanto podrían ser aplicadas en diversas áreas del sector de la

edificación. Entre ellas, cabe destacar la fotogrametría como tecnología para levantamientos arquitectónicos gracias a la posibilidad de generación de nubes de puntos y obtener modelos virtuales de edificios de alta precisión. De esta manera, la fotogrametría se convierte en una clara alternativa a otros métodos que requieren de equipos más especializados, una formación adicional y por ende, una mayor inversión.

Por otro lado, se ha mostrado que el prototipado rápido a partir del uso combinado de tecnologías de impresión 3D, OSP y el IoT ofrece una completa libertad para el desarrollo de todo tipo de dispositivos electrónicos de una manera rápida y de bajo coste. Si bien la fase inicial de formación puede tener una curva de aprendizaje intrincada, debido a la necesidad de abordar simultáneamente la programación de código y el diseño de dispositivos, los primeros resultados muestran claramente la alta rentabilidad obtenida al utilizar estas tecnologías de una manera combinada.

En definitiva, la digitalización del sector de la construcción no debe ser considerado un objetivo en sí mismo. La atención debe prestarse en la elección de aquellas tecnologías y metodologías más adecuadas a cada puesto de trabajo y que puedan ser adoptadas de una manera gradual. Esto mejora los flujos de trabajo con el objeto de ofrecer una mayor calidad final de servicio.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo financiero recibido para el desarrollo de la metodología por parte del Departamento de Desarrollo Económico e Infraestructuras del Gobierno Vasco a través del proyecto TDCON4.0 "Tecnologías y soluciones para la digitalización del sector de la construcción 4.0" ELKARTEK KK-2019/00075. Cabe extender también los agradecimientos al Ayuntamiento de Hernani por la financiación recibida para el desarrollo de la parte experimental presentada en la investigación.

REFERENCIAS

- European Parliament, (2018) Directive (EU) 2018/844 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings and Directive 2012/27/EU on energy efficiency. Official Journal of the European Union. L 156/75. https://eur-lex.europa.eu/procedure/EN/2016_381.
- IEA Digitalization (2017), Digitalization & Energy.
- Kaufmann, D.; Ruaux, X.; Jacob, M. (2018). Digitalization of the construction industry: the revolution is underway. Oliver Wyman.
- Manyika, J.; Ramaswamy, S.; Khanna, S.; Sarrazin, H.; Pinkus, G.; Sethupathy, G. et al., (2015). Digital America: A tale of the haves and have-mores, McKinsey Global Institute.
- Martín-Garín, A.; Millán-García, J.A.; Sala-Lizarraga, J.M.; Hidalgo-Betanzos, J.M.; Bañri, A. (2018a). Internet de las cosas y plataformas de código abierto como herramientas de apoyo para la construcción 4.0.= Internet of things and open source platforms as support tools for construction 4.0. Anales de Edificación. 4. <http://dx.doi.org/10.20868/ade.2018.3772>.
- Martín-Garín, A.; Millán-García, J.A.; Bañri, A.; Millán-Medel, J.; Sala-Lizarraga, J.M., (2018b). Environmental monitoring system based on an Open Source Platform and the Internet of Things for a building energy retrofit, Automation in Construction. 87, 201-214. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2017.12.017>.



Reconocimiento – NoComercial (by-nc): Se permite la generación de obras derivadas siempre que no se haga un uso comercial. Tampoco se puede utilizar la obra original con finalidades comerciales.