Horizonte Académico
Revista Multidisciplinaria
Recibido:09/05/2025 Aprobado:10/06/2025

DOI: https://doi.org/10.70208/3007.8245.v5.n2.168

Integración del BIM 6D en el diseño arquitectónico y luminotécnico, orientado a la sostenibilidad y eficiencia energética

Magaly Choquevillca Ibañez
magalychoquevillca@gmail.com
https://orcid.org/0009-0004-1000-5291
Docente investigador Facultad de arquitectura y urbanismo
Bolivia – Oruro

RESUMEN

La industria de la construcción demanda gran cantidad de energía, que aumenta la emisión de gases de efecto invernadero en la atmosfera, los edificios representan el mayor porcentaje de consumo energético mundial. A partir de la implementación de herramientas tecnologías y la innovación en el campo del Arquitectura, Ingeniería y Construcción (AEC), se integra la metodología BIM (6D) enfocada a simular el comportamiento energético, facilitando su optimización y rendimiento, contribuyendo a la reducción de emisiones de CO_2. La investigación como problema principal enfatiza la necesidad de integrar la metodología BIM, de manera eficiente que optimice el rendimiento energético con parámetros que vinculen un diseño arquitectónico y luminotécnico. El Objetivo principal es integrar un modelo arquitectónico, simulado en la sexta dimensión en la etapa del diseño con datos reales del área de estudio, para optimizar los sistemas de iluminación y determinar valores, parámetros que contribuyan a la eficiencia y el ahorro energético. La metodología empleada considero un enfoque mixto de tipo cuali-cuantitativo, debido a que combina elementos descriptivos y analíticos para examinar y comprender las variables del estudio. Como parte de los resultados se desarrolló un modelo de simulación energética, con datos reales del estudio e integración de lineamientos arquitectónicos y estrategias de diseño bioclimático que aplicados al diseño luminotécnico se redujo el consumo energético de 355 kWh/m²/año a 265 kWh/m²/año, además conforme una simulación adecuada y selección de luminarias LED, eficientes se reduce el consumo energético de 171,2 a 28,9 kWh/día, destacando un beneficio económico de ahorro del 85,85 %.

Palabras clave: BIM (6D), diseño luminotécnico, eficiencia energética

Integration of 6D BIM into architectural and lighting design, geared toward sustainability and energy efficiency

ABSTRACT

The construction industry requires a large amount of energy, which increases greenhouse gas emissions into the atmosphere. Buildings represent the largest percentage of global energy consumption. Through the implementation of technological tools and innovation in the field of Architecture, Engineering, and Construction (AEC), the BIM (6D) methodology is being integrated, focused on simulating energy behavior, facilitating optimization and performance, and contributing to the reduction of CO_2 emissions. The main problem of this research is the need to integrate the BIM methodology efficiently, optimizing energy performance with parameters that link architectural and lighting design. The main objective is to integrate an architectural model, simulated in the sixth dimension during the design stage, with real data from the study area to optimize lighting systems and determine values, parameters that contribute to energy efficiency and savings. The methodology used is a mixed qualitative-quantitative approach, combining descriptive and analytical elements to examine and understand the study variables. As part of the results, an energy simulation model was developed, with real data from the study and integration of architectural guidelines and bioclimatic design strategies that applied to the lighting design reduced energy consumption from 355 kWh/m²/year to 265 kWh/m²/year, in addition, according to an adequate simulation and selection of efficient LED luminaires, energy consumption is reduced from 171.2 to 28.9 kWh/day, highlighting an economic benefit of savings of 85.85%.

***Keywords**:* BIM (6D), lighting design, energy efficiency

INTRODUCCIÓN

La presente investigación se enfoca en la implementación del BIM, con un enfoque integral para la creación, gestión y explotación de datos de edificios a lo largo de su ciclo de vida (Eastman, Teicholz, & Liston, 2011), este enfoque permite la colaboración y el intercambio de información entre los diferentes actores involucrados en el proyecto, mejorando así la eficiencia y la productividad reduciendo tiempos y mejorando la comunicación (Kymmell, 2008).

La dimensión BIM 6D también es denominada Simulación Del Comportamiento Energético y Sustentabilidad, "BIM 6d esta principalmente orientado a mejorar el rendimiento del ciclo de vida del proyecto" (Nicał & Wodyński, 2016). La integración de la estructura con el entorno también se podrá llamar Green BIM (BIM VERDE), debido a que considera todos los aspectos climáticos de la ubicación del proyecto, según (González Villamil & Fabián, 2022). Los softwares de análisis energético BIM (6D) son herramientas poderosas que permiten mejorar el desempeño energético de los edificios, el uso de softwares vinculan el análisis de un modelo energético, la simulación energética se realiza dentro de la interfaz del modelado, configuración de datos de energía, generación de modelo energético, análisis de datos en la nube y visualización de resultados. La eficiencia energética es imprescindible para conseguir reducir el consumo de energía a lo que propone el uso de la energía de forma eficiente y consiente que logre reducir el efecto invernadero (Portillo, 2023). Entre la búsqueda de la reducción del consumo energético referidos a la AEC, se vincula las edificaciones de bajo consumo; "Los edificios de consumo energético nulo son aquellos que apenas necesitan energía para el normal desempeño de actividades en su interior" (Schneider Electric, 2023).

El BIM facilita la optimización del diseño, la gestión de la documentación y el análisis del ciclo de vida, elementos cruciales para cumplir con los requisitos LEED. Al integrar BIM en proyectos LEED, se mejora la eficiencia energética, se reduce el impacto ambiental y se simplifica el proceso de certificación, permitiendo crear edificios más sostenibles y responsables, conjuntamente la certificación BREEAM, que certifica la sostenibilidad de edificios creado por Building Research Establishment (BRE) en el Reino

Unido, el sistema evalúa y certifica el rendimiento ambiental de los edificios a lo largo de su ciclo de vida, con parámetros similares a la certificación LEED.

En estudio desarrolla la eficiencia energética en sistemas de iluminación referido a la capacidad de un sistema para minimizar el consumo de energía eléctrica, con la implementación de luz natural visible de manera efectiva, el sistema de iluminación eficiente es aquel que logra proporcionar la cantidad adecuada de luz para realizar tareas visuales específicas minimizando la cantidad de energía. Según la Agencia Internacional de Energía, la eficiencia energética en sistemas de iluminación es fundamental para reducir el consumo de energía y mitigar el cambio climático (AIE, 2020), así también es oportuno mencionar estrategias para mejorar la iluminación en ambientes interiores como captación de luz natural, o daylight harvesting, conforme la Agencia Internacional de Energía, el mismo puede reducir el consumo de energía en un 20 - 40 % (AIE, 2020), la Asociación Internacional de Iluminación recomienda implementar el mismo en edificios para mejorar la eficiencia energética (IES, 2020).

Se contempla el análisis de los sistemas de control inteligente y su vinculación con BIM 6D, que transforma la gestión de edificios sostenibles al optimizar el rendimiento energético y ambiental a lo largo de su ciclo de vida, esta integración permite el monitoreo en tiempo real del consumo energético y las condiciones ambientales, facilitando la automatización de sistemas para mejorar la eficiencia y el confort. Además, el análisis del ciclo de vida y las simulaciones predictivas, posibles gracias a BIM 6D(Martínez-Manso & Delgado-Fernández, 2022), contribuyen a la sostenibilidad y facilitan la obtención de certificaciones ambientales, permitiendo la sinergia que impulsa la creación de edificios más eficientes y se generen espacios con “autonomía lumínica", permitiendo que la iluminación pueda operar de forma independiente, sin depender de una conexión constante a la red eléctrica (Ramírez, 2017).

Así también es importante comprender la calidad y cantidad de la iluminación en un espacio de trabajo influyen directamente en el bienestar humano y la productividad de los empleados. Para garantizar un ambiente óptimo, es necesario adaptar la iluminación a las características de cada tarea y espacio, cumpliendo con las normativas vigentes y considerando factores como la temperatura de color (Piñeda

Geraldo & Montes Paniza, 2014), la actividad laboral en oficinas, para que pueda llevarse de una forma eficaz y precisa la visión (característica personal) y la iluminación (característica ambiental), ya que se considera que el 50 % de la información sensorial que recibe el hombre es de tipo visual (Llaneza, 2007), es importante mencionar que para llegar a estándares de calidad, seguridad y eficiencia energética, se debe cumplir con parámetros de confort visual (UNE-EN 12464-1:2012) y (IEC 62722-2-1:2014).(Saavedra et al., 2017)

El objetivo general del estudio centra en integrar un modelo paramétrico arquitectónico BIM, simulado en la sexta dimensión en la etapa del diseño, para optimizar los sistemas de iluminación de un edificio de tipo administrativo que permita contribuir a la eficiencia y el ahorro energético.

El estudio explora la implementación de BIM 6D para optimizar la sostenibilidad y eficiencia energética en edificios, enfocándose en la simulación del comportamiento energético y la integración de sistemas de control inteligente. Se busca mejorar el rendimiento del ciclo de vida de los proyectos mediante el análisis del impacto ambiental y la automatización de sistemas, facilitando la obtención de certificaciones, los sistemas de iluminación eficientes y la creación de espacios con "autonomía lumínica", considerando el bienestar humano y la productividad en ambientes de áreas de trabajo conforme la normativa y confort visual.

MATERIALES Y MÉTODOS

En el presente documento la metodología del estudio se estructura conforme el enfoque metodológico a emplear de tipo (cuantitativo y cualitativo), debido a que se caracteriza por ser de tipo descriptivo-analítico con un enfoque metodológico que combina elementos descriptivos y analíticos con la finalidad de comprender a partir de la problemática planteada, parámetros que aporte de soluciones enmarcadas en generar un diseño arquitectónico eficiente que permita el ahorro energético dentro del edificio de tipo administrativo, emplazado en un área con las peores condiciones físicas del entorno.

Entonces para el desarrollo de la investigación se propone una metodología mixta, con la finalidad de direccionar el estudio, se identifica el problema de estudio, considerando las principales variables que direcciona en el desarrollo de la presente investigación, el objetivo general que direcciona el estudio de

la investigación que, a través de los recursos desarrollados del marco teórico para lo búsqueda del conocimiento, se logre a partir de la fase de la propuesta la verificación de los resultados. Se describe conceptos relacionados con la metodología BIM, sostenibilidad, simulación energética, luminotécnica y sistemas de eficiencia energética en edificios, la implementación de un modelo paramétrico BIM, simulado en sexta dimensión un gemelo digital, que efectiviza el diseño luminotécnico de edificio administrativo de tipo administrativo, con uso constante de 8 horas exclusivas de funcionamiento, como se explica cómo se lograran con la implementación de los modelos paramétricos simulados en sexta dimensión coordinados con el componente eléctrico luminotécnico para el ahorro energético.

En la presente investigación se aplica técnicas de procesamiento de datos mediante simulaciones energéticas para optimizar del procesamiento y análisis de datos en un modelo BIM 6D, siendo este un aspecto crucial para extraer valor de la información contenida en el gemelo digital y proponer soluciones de mejora en la fase de diseño del edificio de tipo administrativo.

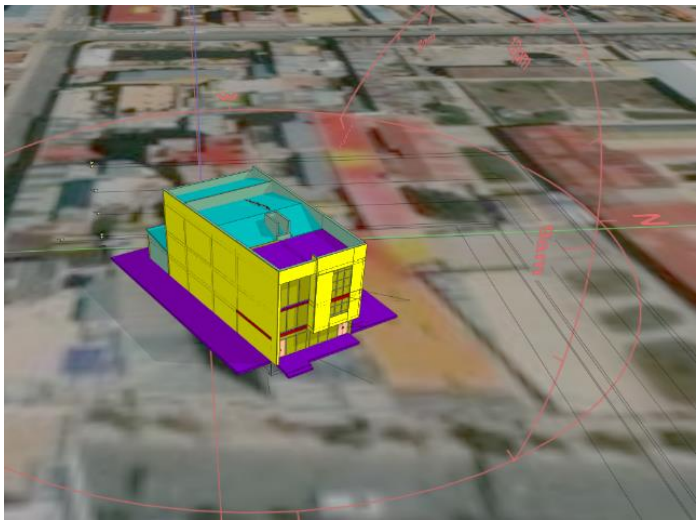
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Modelado de Información de Edificios (BIM), es un enfoque integral para la creación, gestión y explotación de datos de edificios a lo largo de su ciclo de vida (Eastman, Teicholz, & Liston, 2011), este enfoque permite la colaboración y el intercambio de información entre los diferentes actores involucrados en el proyecto, mejorando así la eficiencia y la productividad (Kymmell, 2008). Los modelos de información de la construcción o BIM, impulsa la digitalización del sector constructivo mediante el uso de modelos multidisciplinares y la colaboración en la nube de datos (Martínez-Manso & Delgado-Fernández, 2022) .

Como parte del conocimiento que aporta el presente trabajo es importante, puntualizar como punto de discusión como el gasto energético de una edificación está determinado, por el consumo de variables como la iluminación, climatización y agua caliente sanitaria, para cubrir sus necesidades de consumo energético implica un consumo, el mismo puede ser medido y aproximado con un modelo energético mediante la sexta dimensión BIM.

A continuación, se describe los resultados del presente trabajo de investigación, realizados a partir del modelo paramétrico arquitectónico, conforme a los espacios requeridos y establecidos en el estudio del anteproyecto, la ocupación del terreno es del 100 %, con una importante incorporación de un área destinada al pozo de luz, el modelo de edificio se identifica y ajusta el diseño arquitectónico y articula los espacios con el pozo de luz, que permite interactuar este espacio con los demás ambientes debido a su versatilidad y a la iluminación que proporciona.

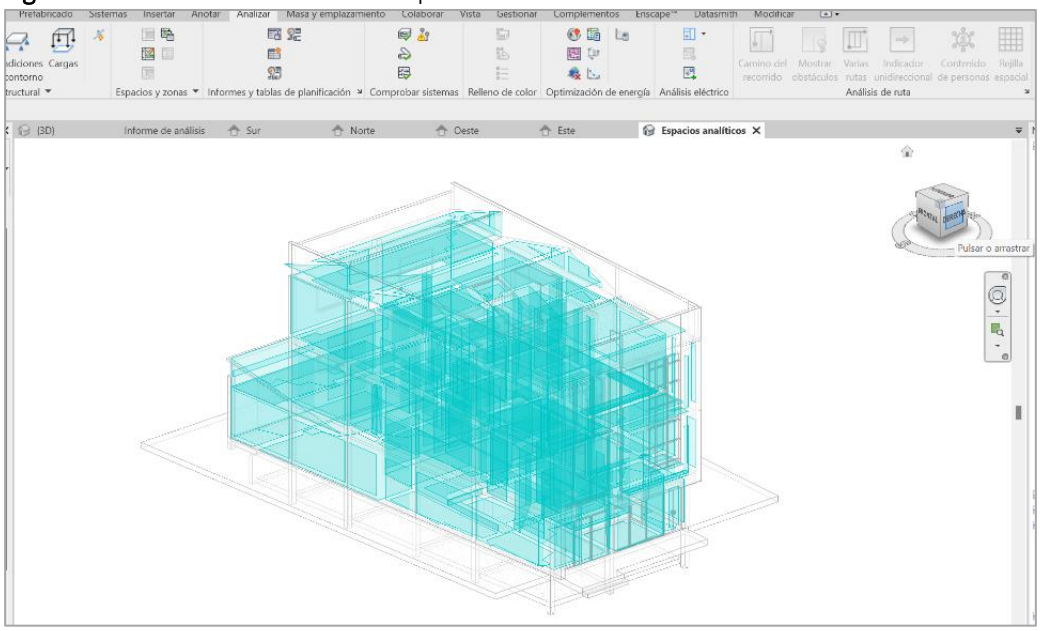
Figura 1. Modelado en el software Revit e interacción con el Formit-pro.



Nota. Modelo en el software Formit-pro. Elaboración propia.

Al realizar la vinculación del modelo e interacción en los softwares, se tiene las primeras alternativas de modificación y variación, lo que permite la mejor toma de decisiones fundamentadas al proyecto y se tiene una morfología definida. Conforme el modelo Revit Architecture®, se generó un modelo energético para la optimización que caracteriza la configuración de datos y valores vinculados a propiedades térmicas de los materiales, para posterior interaccionar con el software Autodesk® Insight 360®, donde se realizan las simulaciones energéticas y se analiza los resultados obtenidos de la nubes de datos, donde se visualizaron los resultados en forma de diagramas y esquemas directamente sobre el modelo BIM, facilitando la comprensión y el análisis del desempeño energético del edificio. En la Figura 2 observamos el modelo 3D ajustado en el software Insight 360®.

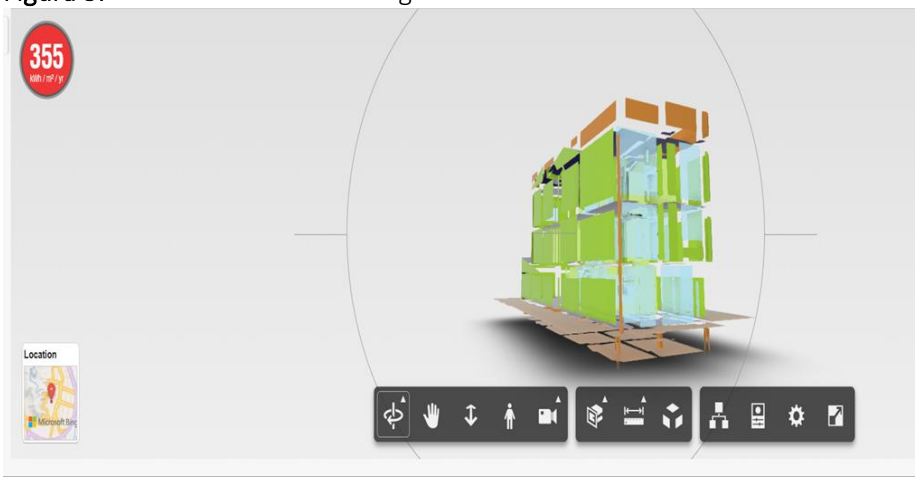
Figura 2. Simulación del modelo arquitectónica



Nota. Elaboración propia a partir de Autodesk Revit.

En un primer análisis obtenemos consumo energético de 355 kWh/m2/año para el modelo inicial, siendo este un valor demasiado elevado de consumo energético de este tipo de edificación, lo que implica que el modelo se ajustan las superficies de los huecos y ventanas que favorezca la iluminación de tipo cenital y permita mejorar las condiciones de confort interior en el edificio.

Figura 3. Primera simulación energética del modelo 3D



Nota. Modelo energético 3D elaboración propia a partir de Autodesk Insight

En la figura 4, se muestra la modificación a la cubierta del modelo digital conforme a los resultados de la primera simulación, así también se ajusta los parámetros de las ventanas interiores en el edificio.

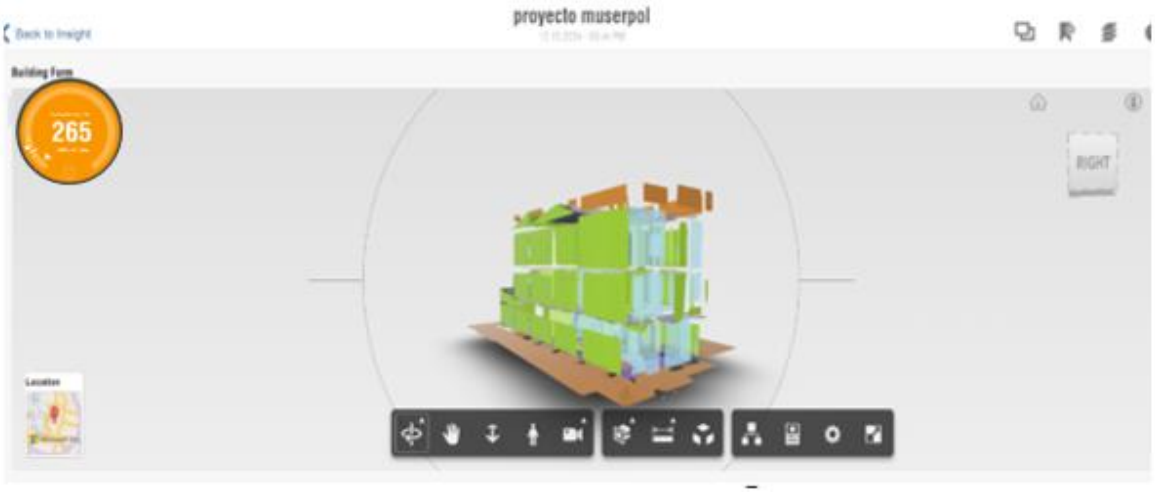
Figura 4. Modelo Revit - Componente arquitectura ajustado



Nota. Modelo energético 3D elaboración propia a partir de Autodesk Insight

En la figura 5, observamos los resultados de la nueva simulación parametrizada conforme a los últimos ajustes realizados al modelo de la plataforma BIM-INSIGHT 360®. Con estas modificaciones simuladas y optimizadas se obtiene el valor de 355 a 265 kWh/m^2/año.

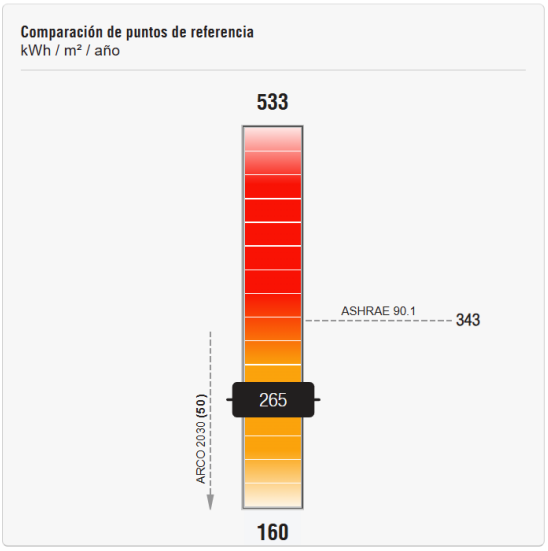
Figura 5. Simulación energética del modelo con la ampliación de luz cenital



Nota. Modelo de simulación energética, elaboración con la plataforma BIM-INSIGHT.

Realizada la simulación conforme datos parametrizados en el modelo arquitectónico, se ve una amplia reducción del consumo energético, conforme los parámetros que se analizaron en el modelo BIM(6D), en el mismo se ve que el consumo energético es de 265 KWh/m2/año, conforme los siguientes parámetros que se muestran en las siguientes gráficas.

Figura 6. Comparación de los puntos de referencia de consumo



Nota. Comparación de puntos de referencia, elaboración propia, BIM-INSIGHT.

El análisis del modelo conforme los parámetros y la geometría propuesta, demuestra la eficiencia del modelo con relación a la iluminación, obteniendo un valor de 265 kwh/m2/año, que se logra efectivamente a partir de la optimización a la geometría del modelo conforme a la situación de la ubicación y caracterización de la envolvente que permita reducir los costos de energía y el impacto ambiental del edificio, como se muestra en parámetros analizados del modelo y valores analizados en el software Autodesk Insight, demostrando que se puede lograr un ahorro energético, conforme la parametrización adecuada con relación a las área de implementación propuesta.

A si también conforme el diseño luminotécnico se propone en el piso de planta baja será el uso de las luminarias LED CUADRADO de 0,60 x 0,60 de 42,5 W, implementada en áreas de atención, oficinas, pasillos y para los baños se usa luminarias LED PANEL CIRCULAR DE 22 W, además el diseño contempla un circuito de interruptores dobles en áreas de pasillos para alternar el uso de encendido de luces lo que efectiviza aún más el ahorro energético, las mismas simuladas en el software DIALUX, que simula los mapas visuales donde se representan la distribución de la luz para cada tipo de ambiente diseñado. Al identificar las zonas con suficiente iluminación y áreas que podrían necesitar ajustes, permite detectar sombras y zonas mal iluminadas.

Se muestra los análisis que arroja el software DIALUX, donde en resumen los resultados para el sistema de iluminación, se muestran en la tabla 1, que nos ha proporcionado el software DIALux, que necesitan 59 luminarias de Backlite 60x60 42,5 W y 26 luminarias LED Circular 22 W, haciendo una potencia instalada de 3,03 kW, haciendo un flujo luminoso total de 342.239 lúmenes.

Tabla 1. Resumen de los resultados del análisis con DIALux

Localización	Potencia de luminarias LED		Potencia instalada (W)	Flujo luminoso Φ (lm)	Tensión (V)	Calibre (mm^2)	Protección (Amp)
	42,5 W	20 W					
Planta Baja	20	7	990,0	111.770	230	2,5	16
Planta Piso-1	19	12	1047,5	118.699	230	2,5	16
Planta Piso-2	20	7	990,0	111.770	230	2,5	16
Total	59	26	3.027,5	342.239	-	-	-

Nota. Elaboración propia.

A continuación, se presenta el cálculo del número lámparas de tipo incandescentes para cubrir los lúmenes totales de nuestro edificio y comparar con el número de luminarias tipo LED. Las lámparas incandescentes comunes suelen tener potencias de 40 W, 60 W, 75 W o 100 W y los valores de lúmenes para diferentes bombillas incandescentes se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Características de las lámparas incandescentes

Potencia de luminaria (W)	Flujo luminoso Φ (lm)
40	450
60	800
75	1.100
100	1.600

Nota. Elaboración propia.

Si consideramos una luminaria de 100 W entonces tenemos:

$$N\ bombillas = \frac{342.239\ \text{lm}}{1.600\ \text{lm}} = 213{,}9$$

Así que necesitarías aproximadamente 214 bombillas incandescentes de 100 vatios para alcanzar un total de 342.239 lm, los resultados de esta comparación son importantes ya de pasamos de 85 luminarias LED a 214 luminarias incandescentes para conseguir el mismo flujo luminoso. En el cálculo

se presenta el consumo energético de ambos sistemas para poder compararlos, expuestos en la tabla 3, que asume que las luminarias tienen un funcionamiento de 8 horas en 1 día.

Tabla 3. Consumo energético según el tipo de luminarias

Tipo de luminaria	Numero	Potencia (W)	Horas de uso	Potencia total (Wh)
LED	59	42,5	8	20.060
LED	26	20	8	4.160
Incandescente	214	100	8	171.200

Nota. Elaboración propia.

El precio de la energía eléctrica es fijado por la Autoridad de Fiscalización de Electricidad y Tecnología Nuclear, AETN, que es administrada por el Estado y según el anuario estadístico de la gestión 2023 el precio por la empresa ENDE ANDINA es de 63,20 Bs/kW-mes, sin IVA. El valor del kWh cambia de acuerdo a rangos de consumo, por ejemplo, a los usuarios en la categoría domiciliaria cuyo consumo de energía eléctrica es menor o igual a 70 kWh/mes se le aplica la Tarifa dignidad, que es un descuento del 25 % respecto al importe total facturado. Para nuestro cálculo consideraremos el precio de Bs 1,479 por cada kWh. En la Tabla 13 podemos observar el gasto mensual de los dos sistemas de iluminación.

Tabla 4. Precios de la electricidad mensual de los sistemas de iluminación

Tipo de luminaria	Potencia total (kWh-día)	Mes (días)	Precio de la electricidad por (Bs/ kWh)	Precio total de la electricidad (Bs/kWh-mes)
LED	24,22	30	1,479	1.074,64
Incandescente	171,2	30	1,479	7.596,2

Nota. Elaboración propia.

Con esta comparación de precios de los dos sistemas queda demostrado nuestra hipótesis ya que el coste total de electricidad disminuye a medida que aumenta la eficiencia del sistema de iluminación.

El costo del ahorro económico es de 6.521,56 (Bs), se representa en valor porcentual del 85,85 %, conforme la siguiente relación:

$$7.596,2 \text{ ——— } 100\%$$

$$6.521,56 \text{ ——— } x$$

$$x = (6.521,56 * 100) / 7.596,2$$

$$\mathbf{x = 85,85\%}$$

El costo del ahorro energético del sistema de iluminación propuesto en nuestro diseño del edificio representa un 85,85 %. Este beneficio no solo es un ahorro económico sino también significa una reducción de los gases de efecto invernadero al consumir menos energía proveniente de los combustibles fósiles, resultado de las optimizaciones realizadas en el modelo energético y las simulaciones bajo la coordinación BIM-6D.

CONCLUSIONES

Entre los principales resultados del este estudio sobre la implementación de un modelo paramétrico arquitectónico BIM, simulado en la sexta dimensión en la etapa del diseño arquitectónico para optimizar los sistemas de iluminación del edificio administrativo MUSERPOL-ORURO tiene las siguientes conclusiones

A partir del Autodesk Insight 360 se realizaron varias simulaciones energéticas para reducir el consumo energético inicialmente de 355 kWh/m²/año hasta 265 kWh/m²/año, esta reducción se logró mediante la aplicación de estrategias de diseño bioclimático, aprovechado la orientación para recibir la máxima radiación solar, aumentar el tamaño de las ventanas, implementar un patio de luz cenital para una mayor la iluminación natural, y usar vidrio de baja emisividad. Si bien este software no está diseñado específicamente para realizar cálculos detallados de sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC), nos proporciona un análisis de rendimiento energético que ayudan a reducir el consumo energético del edificio.

La selección de luminarias constituye en un factor clave para el mayor rendimiento energético ya que reduce los consumos de electricidad, en nuestro caso para un mismo flujo luminoso (342.239 lm) pasamos de 214 luminarias incandescentes a 85 luminarias LED. Los resultados de la comparación con sistemas incandescentes mostraron que el uso de LED reduce el consumo energético de 171,2 a 28,9

kWh/día. Estos resultados representan un ahorro mensual significativo en costos de electricidad, destacando un beneficio económico del 85,85 %.

REFERENCIAS BIBLIOIGRÁFICAS

Adnan, N. A., Sujali, N. S., & Md Amin, N. D. (2021). Case Study On The Impact Of Artificial Light On Lighting Performance Quality For Architecture Studios. *International Journal of Integrated Engineering*, *13*(3), 184–191. https://doi.org/10.30880/ijie.2021.13.03.022

Alsehaimi, A., Waqar, A., Alrasheed, K. A., Bageis, A. S., Almujibah, H., Benjeddou, O., & Khan, A. M. (2024). Building a sustainable future: BIM's role in construction, logistics, and supply chain management. *Ain Shams Engineering Journal*, 103103. https://doi.org/10.1016/J.ASEJ.2024.103103

Gonzalez Villamil, W. R., & Fabian, A. L. (n.d.). Siete Dimensiones de un Proyecto de Construcción Con La Metodología Building Information Modeling.

Martínez-Manso, H., & Delgado-Fernández, T. (2022). Arquitectura básica de diseño de gemelos digitales para la construcción. Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación, 12(2), 327–336. https://doi.org/10.19053/20278306.v12.n2.2022.15275

Piñeda Geraldo, A., & Montes Paniza, G. (2014). ERGONOMÍA AMBIENTAL: Iluminación y confort térmico en trabajadores de oficinas con pantalla de visualización de datos (Vol. 1).

Ramírez, A. G. (2017). Evaluación postocupacional del confort lumínico en edificios de oficina Post-occupational evaluation of lighting comfort in office buildings Avaliação pós-ocupacional do conforto luminoso en edificios de escritório. 138–145. https://doi.org/10.183889/dearq20.2017.10

Ruiz, A. (2019). *ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA: CONCEPTOS Y HERRAMIENTAS.* Retrieved from https://www.alvaroruizarquitectura.com/arquitectura-bioclimatica-conceptos-herramientas-n-33-es

Saavedra, E., J. Rey, F., & Luyo, J. (2017). SISTEMAS DE ILUMINACIÓN, SITUACIÓN ACTUAL Y PERSPECTIVAS. Revista Cientifica TÉCNICA, 26(2), 44. https://doi.org/10.21754/tecnia.v26i2.57

Koutamanis, A. (2020). Dimensionality in BIM: Why BIM cannot have more than four dimensions? *Automation in Construction*, *114*, 103153. https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2020.103153