

Inventario del consumo de energía para evaluar alternativas de ahorro energético en el edificio 2 del Campus Víctor Levi Sasso de la Universidad Tecnológica de Panamá

Inventory of energy consumption to evaluate energy saving alternatives in building two of the Victor Levi Sasso Campus of the Technological University of Panamá

FÉLIX HENRÍQUEZ ESPINOSA^{1,2}, KEIVAN ALBERTO CARRIZO GILBERT¹,
LUIS MOGOLLON², ARANZAZU BERBEY-ALVAREZ³,

¹ Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica de Panamá.
El Dorado, Panamá, República de Panamá, 0819-07289.

keivan.carrizo@utp.ac.pa ORCID:

² Centro de Investigación e Innovación Eléctrica, Mecánica y de la Industria (CINEMI),
Universidad Tecnológica de Panamá.

El Dorado, Panamá, República de Panamá, 0819-07289.

felix.henriquez@utp.ac.pa ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9009-2599>

luis.mogollon@utp.ac.pa ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4137-6525>

³ Facultad de Ingeniería Industrial, Universidad Tecnológica de Panamá

El Dorado, Panamá, República de Panamá, 0819-07289

Aranzazu.berbey@utp.ac.pa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4278-5478>

Recibido: 12.05.2021 Aceptado: 23.01.2022

Cómo citar: Henríquez Espinoza, Félix, Carrizo Gilbert, Keivan Alberto; Mogollón, Luis; Berbey-Alvarez, Aranzazu (2021). “Inventario del consumo de energía para evaluar alternativas de ahorro energético en el edificio 2 del Campus Víctor Levi Sasso de la Universidad Tecnológica de Panamá”, *TRIM*, 20-21: 5-40.

Este artículo está sujeto a una [licencia “Creative Commons Reconocimiento-No Comercial” \(CC-BY-NC\)](#).

DOI: <https://doi.org/10.24197/trim.20-21.2021.5-40>

Resumen: El Edificio 2 se encuentra ubicado en el Campus Víctor Levi Sasso de la Universidad Tecnológica de Panamá y tiene una superficie construida de 2,361 m² aproximadamente. A partir del inventario realizado, se estima que el Edificio 2 tiene un consumo anual de 1,237.16 MWh, lo que refleja un gasto de \$188,889.70 al año, aproximadamente. De las 3 áreas identificadas con potencial de ahorro de energía en el edificio, se han presentado alternativas para los sistemas de iluminación, aire acondicionado y energías renovables; consiguiendo un ahorro eléctrico hasta del 62% y evitando emitir a la atmósfera 146.01 Ton CO₂ por año.

Palabras clave: Consumo energético, estudio energético, niveles de iluminación, Revit, simulación energética, externalidades.

Abstract: Building 2 is located on the Victor Levi Sasso Campus of the Universidad Tecnológica de Panamá and has a floor area of approximately 2,361 m². Based on the inventory, it is estimated that Building 2 has an annual consumption of 1,237.16 MWh, which reflects an expenditure of approximately \$188,889.70 per year. Of the 3 areas identified with potential energy savings in the building, alternatives have been presented for the lighting, air conditioning and renewable energy systems, achieving electrical savings of up to 62% and avoiding the emission of 146.01 tons of CO² into the atmosphere per year.

Keywords: Energy consumption, energy study, lighting levels, Revit, energy simulation, externalities.

INTRODUCCIÓN

La Auditoría Energética es la aplicación de un conjunto de técnicas que permiten determinar el grado de eficiencia con la que es utilizada la energía; incluyendo el estudio de todas las formas y fuentes de energía encontradas en una instalación o edificación. Las auditorías energéticas se erigen como una herramienta que permite a las organizaciones conocer su situación respecto a su uso de energía (García, 2010). La auditoría energética se puede definir como un estudio integral de todos los aspectos, tanto técnicos como económicos, que afectan directa o indirectamente al consumo de las diferentes energías en un Edificio, cuyo objetivo es establecer un conjunto racional de reformas o mejoras encaminadas a un uso racional de la energía (Iberinco, 2009).

Existen diferentes tipologías de estudios energéticos en función del alcance, de la exigencia y del detalle del estudio que se requiere realizar en las instalaciones; ordenados por complejidad, se establecen tres niveles: Prediagnóstico, Diagnóstico y Auditoría Energética (Roberto Gómez Girini, Graciela René López, 2012). En la literatura existen varios casos de estudio sobre análisis de consumos energéticos (Mora et al., 2020) (Segundo et al., 2017)(Villarreal & Candanedo, 2020) (Pitti et al., 2018). En Mora *et al.*, (Mora et al., 2020) se realiza una revisión de las tecnologías para el control de la ocupación de los edificios, dada su vinculación con el consumo energético. En Segundo *et al.*, (Segundo et al., 2017) se realiza un caso de estudio en una sucursal bancaria en Panamá. Este estudio determinó que entre el 80% y el 88% de los usuarios se sienten cómodos, perciben una temperatura fresca y les agrada el nivel de iluminación natural. En Villarreal *et al.*, (Villarreal &

Candanedo, 2020) se comprueba que las islas de calor y su relación con edificios altos, uso de automóviles, el uso de asfalto como material para las calles y factores ambientales como la lluvia, nubes y vientos promueven la generación de ellas. En Pitti et al., (Pitti et al., 2018) se desarrolló un sistema automatizado para disminuir el consumo de energía eléctrica residencial.

Según la Secretaria Nacional de Energía, gran parte de la energía producida actualmente en Panamá es desperdiciada y que una parte de ella proviene de fuentes de energía no renovables, las cuales tienen un alto grado de contaminación ambiental, como lo son las energías producidas a partir de gas natural, bunker, carbón y diésel; lo que en el año 2018, la generación de electricidad representó cerca del 25% de la energía total producida en Panamá (Secretaría Nacional de Energía de Panamá, 2019). Todas estas situaciones evidencian necesidad de identificación de oportunidades para la eficiencia energética en Panamá (BID, 2014; Briano et al., 2016; Ministerio de la Presidencia de Panamá, 2020; Perlman & Pava, 2019; Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), 2017; Secretaría Nacional de Energía de Panamá, 2020) (Carpio & Coviello, 2013).

La realización de un estudio energético en un edificio, no solo se limita a la reducción del consumo energético desde el punto de vista técnico y económico, sino que además involucra una reducción en el impacto ambiental que se genera a partir de la utilización de fuentes de energías no renovables. Los sistemas de acondicionamiento de aire y refrigeración son consumidores energéticos llegando a representar casi 60% del consumo eléctrico de un edificio, así como los sistemas de iluminación que en la mayoría de los casos se coloca como el segundo mayor consumidor de energía de un edificio. La demanda creciente de energía provoca un aumento en los costos del petróleo y, por ende, un aumento en el costo de la tarifa eléctrica (Budia- Sanchez, 2009).

En la literatura científica existen una amplia variedad de investigaciones sobre el análisis energético en los edificios (AbuGrain & Alibaba, 2017; Allouhi et al., 2015; Attia et al., 2012; Banfi et al., 2008; Carriere et al., 1999; Christensen et al., 2006; Dawood et al., 2013; Feng & Zhang, 2012; García-Sanz-Calcedo et al., 2018; Heo et al., 2015; Jalaei & Jrade, 2014; Kolokotsa et al., 2009; Mahmoud et al., 2017; Malatji et al., 2013; Mjörnell et al., 2014; Mytafides et al., 2017; Rackes & Waring, 2017; Rasheed et al., 2020; Rey et al., 2007; Sadeghifam et al., 2015; Setiawan et al., 2015; Sher et al., 2019; Siew et al., 2011;

Touloupaki & Theodosiou, 2017; Yamaguchi et al., 2003; Zabalza et al., 2013).

Tabla 1. Resumen tabular del estado de arte.

1: artículo de congreso 2: artículo en revista 3: Modelado y simulación 4: Optimización 5: Técnicas estadísticas, diseño de experimentos, probabilidades 6: Software, Tools 7: Reportes técnicos, normas, guías, manuales, revisiones 8: Análisis técnico-económico 9: inteligencia artificial											
Autor	Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Institución/organismo
AbuGrain y Alibaba	2017		x	x							Eastern Mediterráneo University (Turquía)
Allouhi <i>et al.</i> ,	2015		x			x	x				Université Sidi Mohamed Ibn Abdelah Route d' Imouzer (Marruecos), Université de Pau et des Pays de l' Adour (Francia)
Attia <i>et al.</i> ,	2012		x	x							Université Catholique de Louvain (Bélgica), Eindhoven University of Technology (Holanda)
Banfi <i>et al.</i> ,	2008	x		x		x					ETH Zúrich, Universidad de Lugano (Suiza)
Carriere <i>et al.</i> ,	1999		x	x			x				Universidad de Saskatchewan (Canadá)
Christensen <i>et al.</i> ,	2006			x	x		x	x			National Renewable Energy laboratory, Universidad de Colorado (USA)
Dawood <i>et al.</i> ,	2013		x				x			x	Teesside University (UK)
Feng y Zhang	2012		x	x					x		Beijing Normal University (China)
García-Sanz-Calcedo <i>et al.</i> ,	2018		x					x			Universidad de Extremadura (España), University of Southern Toowoomba (Australia)
Heo <i>et al.</i> ,	2015			x		x					Universidad de Cambridge (UK), Georgia Institute of Technology (USA), Argonne National Laboratory (USA)
Jalaei y Jrade	2014	x		x			x				Universidad de Ottawa (Canadá)
Kolokotsa <i>et al.</i> ,	2009			x	x						Democritus University of Thrace (Grecia)
Mahmoud <i>et al.</i> ,	2017			x							King Fahd University of Petroleum and Minerals (Arabia Saudi)
Malatji <i>et al.</i> ,	2013		x		x				x	x	Universidad de Pretoria (Sudáfrica)
Mjörnell <i>et al.</i> ,	2014		x				x				Lund University
Mytafides <i>et al.</i> ,	2017		x	x			x				Democritus University of Thrace (Grecia)
Rackes y Waring,	2017		x	x							Dresel University (USA)
Rasheed <i>et al.</i> ,	2020		x	x		x					Kyungpook National University (Korea), Cult Labs CO, Gyeongsang National University
Rey <i>et al.</i> ,	2007										Universidad de Valladolid
Sadeghifam <i>et al.</i> ,	2015			x		x	x				University Teknologi Malaysia
Setiawan <i>et al.</i> ,	2015		x	x			x				National Cheng Kung University (Taiwan)
Sher <i>et al.</i> ,	2019		x	x			x				Universidad de Coventry (Reino Unido), Universidad de Nottingham (Reino Unido)

Inventario del consumo de energía...

Siew <i>et al.</i> ,	2011																		Universidad Bebangsaan de Malasia
Touloupaki y Theodosiou	2017		x	x	x													x	Universidad Aristoteles de Thessaloniki (Grecia)
Yamaguchi <i>et al.</i> ,	2003	x		x															Universidad de Osaka (Japón)
Zabalza <i>et al.</i> ,	2013		x	x						x									Universidad de Zaragoza (España)

En general el estado de arte presentado aquí, arroja una serie de investigaciones que son una combinación de técnicas de modelado y simulación (AbuGrain & Alibaba, 2017), (Attia et al., 2012), (Banfi et al., 2008), (Carriere et al., 1999), (Christensen et al., 2006), (Feng & Zhang, 2012), (Heo et al., 2015), (Jalaei & Jrade, 2014), (Kolokotsa et al., 2009), (Mahmoud et al., 2017), (Mytafides et al., 2017), (Rackes & Waring, 2014, 2017), (Rasheed et al., 2020), (Sadeghifam et al., 2015), (Setiawan et al., 2015), (Setiawan et al., 2015), (Touloupaki & Theodosiou, 2017), (Yamaguchi et al., 2003) y (Zabalza et al., 2013) con softwares especializados o desarrollo de herramientas informáticas (Allouhi et al., 2015), (Carriere et al., 1999), (Christensen et al., 2006), (Dawood et al., 2013), (Jalaei & Jrade, 2014), (Mjörnell et al., 2014), (Mytafides et al., 2017), (Sadeghifam et al., 2015), (Setiawan et al., 2015), (Sher et al., 2019) y (Zabalza et al., 2013) que integran metodologías de indicadores energéticos, algoritmos evolutivos (Dawood et al., 2013), (Malatji et al., 2013), (Touloupaki & Theodosiou, 2017). También se presenta en el análisis de estado de arte investigaciones sobre estudios estadísticos, diseño de experimentos y estimación de probabilidades (Allouhi et al., 2015), (Banfi et al., 2008), (Heo et al., 2015), (Rasheed et al., 2020) y (Rasheed et al., 2020). Es frecuente encontrar que estos estudios de eficiencia energética en edificios y demás tipos de construcciones van acompañados de algún tipo de análisis de sensibilidad o de factibilidad técnica financiera (Feng & Zhang, 2012) y (Malatji et al., 2013).

En AbuGrain & Alibaba (AbuGrain & Alibaba, 2017), los resultados arrojaron un 30% de ahorro energético anual después de considerar un conjunto de estrategias de diseño pasivo para reducir el consumo anual de energía y así aumentar el desempeño energético del edificio. Aproximamente el 11 % de este ahorro energético se logró gracias a la optimización del sistema de iluminación existente y un 9% gracias a la optimización del sistema HVAC. En Allouhi *et al.*, (Allouhi et al., 2015) realiza una revisión de los principales indicadores globales para el consumo energético para el periodo 2001-2011. En Attia *et al.*, (Attia et

al., 2012) se presenta el desarrollo de un software utilizando la metodología de energía cero para edificios y su aplicación en Egipto. Banfi *et al.*, (Banfi et al., 2008) realiza un caso de estudio apartamentos residenciales en Suiza. La muestra fue de 163 apartamentos y 142 casas. El metodología utilizada fue el metodo ajustado de logit. Los resultados muestran la voluntad de invertir en sistemas o medidas de ahorro energético en la vivienda propia. La disposición a invertir en sistemas de ahorro energética para la fachada de la vivienda es del 3% mientras que la disposición para invertir en sistemas de ventilación varía entre el 8% y 13%. En Carriere *et al.*, (Carriere et al., 1999) se realizaron simulaciones energeticas con la ayuda de un software para demostrar los ahorros en consumo de energia durante el invierno de 1995 en un edificio comercial. En Christensen *et al.*, (Christensen et al., 2006) utiliza la simulacion y optimización de escenarios para encontrar el punto mas cercano al optimo utilizando la metodologia zero net energy para el diseño y la construcción de edificios. En Christensen *et al.*, (Christensen *et al.*,) se presenta las bondades del software BEopt. Dawood *et al.*, (Dawood et al., 2013) se realiza una revisión de la herramientas disponibles basadas en inteligencia artificial que existen y su aplicación en un caso de estudio de un apartamento de interés social en Manchester, Inglaterra. En se ponen de manifiesta la necesidad de integrar mejor las directivas europeas sobre la eficiencia energética de las construcciones con las herramientas tecnológicas para lograr un mejor desempeño práctico del diseño arquitectonico de viviendas. En Feng y Zhang (Feng & Zhang, 2012) se realizo un estudio de demanda energetica para la ciudad de Beijing para el periodo 2007 al 2030. Este estudio se hizo sobre la base de estos tres escenarios: “*business-as-usual*”(BAU), “*basic-policy*” (BP) y “*low-carbon*” (LC). En García-Sanz-Calcedo *et al.*, (García-Sanz-Calcedo et al., 2018) se presenta un estudio de 12 hospitales y 70 centros de salud para cuidados intensivos en España en el periodo 1980 al 2005. Los resultados arrojaron importantes ahorros energeticos logrado y que la auditorias periodicas es un estrategia real para la optimización del consumo energético en edificios de cuidados para la salud. En Kolokotsa *et al.*, (Kolokotsa et al., 2009) se realiza una revision de las metodologias para el ahorro energetico en edificios. Estas metodologias son clasificados en dos enfoques. El primero de ellos es el enfoque en las operaciones en tiempo real del edificio y el segundo es el enfoque corresponde a la decisiones tomadas fuera de linea, es decir, uan tiene un enfoque activo y otro metodologias son con enfque pasivo. En

Kolokotsa *et al.*, (Kolokotsa et al., 2009) se realiza un modelado y se utiliza un software para hacer un análisis de ahorro energético para viviendas y se valida a través de un caso de estudio basado en las normativas de Estados Unidos de América y Canadá. En Mahmoud *et al.*, (Mahmoud et al., 2017) se realiza un estudio económico que arroja valores de ahorro energético del 24 al 25 % en un periodo de 40 años para un caso de estudio de viviendas en la Ciudad de Dhahran en Arabia Saudita, en condiciones de un clima con humedad cálida. En Malatji *et al.*, (Malatji et al., 2013) se realiza un estudio de optimización utilizando algoritmos genéticos. Los resultados arrojan la imposibilidad de ahorrar energía con inversiones iniciales inferiores a 62500 dólares americanos. En Mjörnell *et al.*, (Mjörnell et al., 2014) se utilizó una herramienta informática basada en la evaluación del ciclo de vida de distintos escenarios relacionados con los aspectos de renovaciones de ventilación, calefacción, iluminación etc. En Mytafides *et al.*, (Mytafides et al., 2017) se realizó un estudio de modelado y simulación utilizando técnicas pasivas de ahorro energético. Los resultados arrojaron importantes ahorros en los consumos esperados. En Rey *et al.*, (Rey et al., 2007) se propone una metodología BEA para la implementación de la Directiva Europea para el desempeño energético de las edificaciones y el protocolo de Kioto y su correspondiente certificación. En Rey *et al.*, (Rey et al., 2007) se valida esta metodología a través de un caso de estudio en un centro médico. En Yamaguchi *et al.*, (Yamaguchi et al., 2003) se realiza la simulación energética de los edificios de todo un distrito en Osaka, Japón. La energía total del distrito corresponde a la suma de la energía consumida de todos los edificios del distrito. En Rasheed *et al.*, (Rasheed et al., 2020) se propone un modelo BES (Building Energy Simulation) y se valida a través de un caso de estudio en Corea del Sur en periodos de invierno y verano. La validación se realiza mediante la comparación de estadísticas de los escenarios medidos y con el uso de un programa de simulación TRNSYS-18. El coeficiente de correlación arrojó un valor alto de 0.84 para los resultados obtenidos. En Sadeghifam *et al.*, (Sadeghifam et al., 2015) se presenta un estudio de caso en Kuala Lumpur, Malasia. Se utilizó un software especializada en el modelo del consumo energético en combinación de técnicas de diseño de experimentos. Los resultados indicaron que los materiales de construcción para paredes y techos son factores clave para el diseño de edificios en regiones tropicales y para optimizar el ahorro energético. En Siew *et al.*, (Siew et al., 2011) se realiza una revisión de los enfoques

conceptuales para el diseño pasivo de sistemas de ventilación de los edificios. Esta revisión identificó 5 enfoques tales como: Pozos de aire, diseño de fachadas, aberturas de ventilación, pasillos y zonas sombras y divisiones. En Sher *et al.*, (Sher et al., 2019) el total de la energía ahorrada fue del 15.7% con las medidas tomadas y comparadas mediante simulaciones y uso de un software. En Setiawan *et al.*, (Setiawan et al., 2015) se observa que el sombreado en las ventanas de la vivienda tiene el impacto más significativo en el consumo energético de un edificio, seguido de un acristalamiento apropiado de las ventanas, el cual el techo produce pequeños beneficios para la eficiencia energética. En Touloupaki y Theodosiou (Touloupaki & Theodosiou, 2017) se integran algoritmos evolutivos con un modelado a través de un software para lograr una evaluación y comprensión de escenarios complejos de consumo energéticos. En Zabalza *et al.*, (Zabalza et al., 2013) desarrolla la metodología ENSLIC que integra técnicas de eficiencia energética a través de un caso de estudio de un edificio en Valdesparte en Zaragoza (España).

Esta investigación tiene como propósito evaluar e inventariar las necesidades energéticas del Edificio 2 en el Campus Dr. Víctor Levi Sasso (CVLS), considerando a los equipos y los sistemas de mayor consumo energético; para proponer medidas de mejora en materia de ahorro de energía que sean factibles técnicamente su implementación con el propósito de dar cumplimiento al Plan de desarrollo institucional PDI (2018-2030) (Universidad Tecnológica de Panamá, 2021b). Este plan consta de 5 áreas, una de las cuales es el área de gestión de la universidad. Este estudio persigue ser un referente para el cumplimiento de las políticas institucionales de área de gestión para el desarrollo institucional. Dichas políticas corresponden a las 6.1 y 6.2, respectivamente, del PDI que se refieren a “*Administrar los recursos de manera eficiente y eficaz*” y a “*promover una gestión ambiental sostenible*”. (Universidad Tecnológica de Panamá, 2018) (Universidad Tecnológica de Panamá, 2021a).

1. MATERIALES Y MÉTODOS

Para el Edificio 2 se ha considerado realizar un estudio energético de nivel 2 (diagnóstico) (Iberinco, 2009), que incluye la realización de un

inventario de equipos, toma de mediciones y presentar propuestas de mejoras para el edificio, por lo cual este estudio se ha dividido en 6 fases principales.

1.1. Recolección de la documentación pertinente

La auditoría comienza con una descripción del edificio, es decir los datos básicos del edificio, del tipo de sistema de climatización para su acondicionamiento y demás sistemas consumidores de energía, especificando en cada caso los equipos y sus características técnicas (Ordóñez-Romero, 2015)(Rodríguez-Piedracoba, 2016), Por esta razón, la primera fase del estudio energético consiste en recopilar toda la información disponible del Edificio 2, se solicitan los planos arquitectónicos y eléctricos del edificio, así como la facturación energética anual del Campus. Además, se ha de buscar información específica como la localización y características del edificio, horarios de funcionamiento y datos climáticos de la localidad.

1.2. Inventario de equipos en el Edificio 2

Durante la segunda fase se realiza un recorrido por diferentes áreas, seleccionando entre 5 a 8 ubicaciones por piso, donde se muestra el estado actual del edificio y de sus instalaciones; mediante una inspección visual, se levanta un inventario detallado de todas las iluminarias y equipos encontrados, así como los datos de su funcionamiento.

1.3. Instrumentación y adquisición de datos

En la tercera fase, será necesaria realizar una campaña de adquisición de datos y desarrollo de medidas; para poder realizar el estudio energético adecuadamente se precisa disponer de equipos que permitan obtener valores de operación fiables; se utilizarán instrumentos como: Termómetro digitales, luxómetros y cámaras termográficas; los cuales serán utilizados para realizar mediciones en los equipos y sistemas de Iluminación y Acondicionamiento de Aire

Para el sistema de iluminación se ha de seguir con protocolos de medición internacionales como es el caso de las Normativas o Guías Argentinas y Españolas(AENOR, 2012). El método de medición que se

utiliza a menudo es la técnica de la cuadrícula de puntos de medición que cubre toda la zona analizada.

Se mide la iluminancia existente en el centro de cada área a la altura de 0.8 metros o plano de trabajo en oficinas o aulas de clases y a nivel del suelo para corredores y pasillos, calculando un valor medio de iluminancia.

Existe una relación que permite calcular el número mínimos de puntos de medición a partir del valor del índice de local (K) aplicable al interior analizado, el cual se describe con la siguiente ecuación y en la Tabla 1 (Superintendencia de Riesgos de trabajo, 2012).

$$K = \frac{\text{Largo} \times \text{Ancho}}{\text{Altura útil} \times (\text{Largo} + \text{Ancho})} \quad (1)$$

Tabla 2: Número de puntos mínimos a evaluar.

Índice Local	Número de puntos
$K \leq 1$	4
$1 < K \leq 2$	9
$2 < K \leq 3$	16
$K > 3$	25

Fuente: (Superintendencia de Riesgos de trabajo, 2012).

1.4. Análisis de los datos obtenidos

En esta fase con la ayuda del Software Excel, se realizan los cálculos y análisis de los datos obtenidos, y se determinarán las áreas del edificio, así como los equipos y sistemas de mayor consumo de energía en el Edificio 2. También se analizarán los valores de temperatura, humedad y niveles de iluminación de las ubicaciones muestreadas, donde para este último se ha de verificar el cumplimiento con las normativas internacionales.

Para los niveles de iluminación la Norma Española UNE-EN 12464-1(AENOR, 2012) presenta tablas donde muestran los niveles de iluminación requeridos (E_r) en lux para cada tipo de actividad en los lugares de trabajo. Una vez obtenida la iluminancia media, se procede a verificar la uniformidad de la iluminancia presentada en ecuación (2) (IDAE, 2001).

Inventario del consumo de energía...

$$Um = \frac{E_{min}}{E_m} \quad (2)$$

Además, se evalúa la dosis de iluminación para cada ubicación, calculada a partir de la ecuación (3) (López- López & Figueroa - Barrionuevo, 2015)

$$DI = \frac{E_m}{E_r} \quad (3)$$

1.5. Simulación energética del Edificio 2

En la quinta fase se realizará un modelo energético del edificio con la ayuda del Software Revit. En esta etapa se diseñará el edificio en base a las dimensiones de los planos arquitectónicos originales y se considerarán aspectos como el horario de funcionamiento, el envolvente del edificio, así como también las densidades de cargas para las luminarias y equipos generales encontrados en las diferentes zonas del edificio.

1.6. Proponer alternativas para el ahorro de energía

En esta última fase se identificarán las áreas de mayor potencial de ahorro energético en el edificio, se presentarán múltiples alternativas para el ahorro de energía que puedan llevarse a cabo en el edificio para mejorar la eficiencia energética y se verificará la disminución en el impacto de la Huella de Carbono al implementar las alternativas propuestas.

2. DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO 2

El Edificio 2 (Postgrado) que es objeto de estudio, es apreciado en la figura 1 y se encuentra ubicado vía Centenario en el corregimiento de Ancón de la ciudad de Panamá, específicamente en el Campus Central Víctor Levi Sasso de la Universidad Tecnológica de Panamá en las coordenadas (09° 01' 29", -79° 31' 48") de longitud y latitud respectivamente.

Los usos de los locales que hay en el edificio son esencialmente para impartir docencia (salones de clases y laboratorios), pero existen gestiones administrativas como despachos, oficinas, salones de reuniones

y cafetería; además el edificio cuenta con una planta baja y dos plantas superiores.



Figura 1: Edificio 2 vista frontal.

2.1. Suministro eléctrico del Edificio 2

El Campus Central Víctor Levi Sasso (CVLS) se compone de tres entradas eléctricas (acometidas eléctricas) con sus respectivos medidores. En el caso del Edificio de Postgrado, esta acometida eléctrica es medida en Tarifa MT, media tensión con demanda (Jaramillo, 2018).

El Medidor 1 (M1) tiene la mayor potencia de instalaciones que representa el 76%, en el que el Edificio 2 cuenta con el 14% de la potencia total instalada en el CVLS como se aprecia en la figura 2a.

El Edificio de Postgrado cuenta con 2 centros de transformación; el primero, cuenta con una potencia instalada de 750 kVA; mientras que el otro, con 300 kVA.

Inventario del consumo de energía...

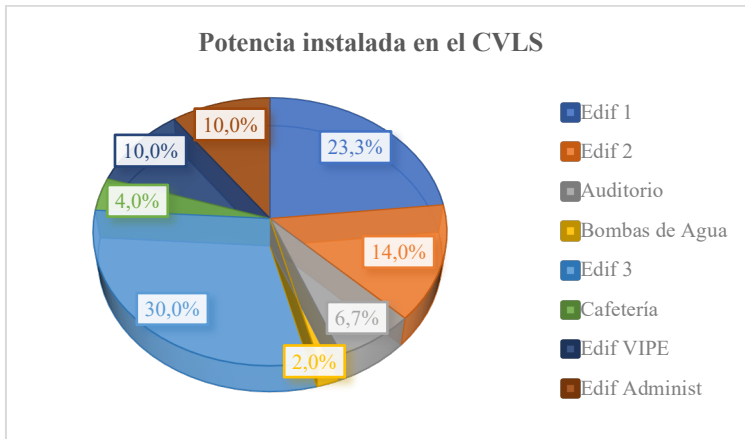


Figura 2a: Potencia Instalada en el CVLS.

A continuación, se presenta el esquema eléctrico de media tensión de todo el Campus Dr. Víctor Levi Sasso (CVLS) (Universidad Tecnológica de Panamá, 2019a) en la figura 2b y el detalle eléctrico correspondiente al Edificio 2 del CVLS (Universidad Tecnológica de Panamá, 2019b). El edificio 2 se alimenta de la acometida eléctrica #1 (Vía Universidad Tecnológica). Hay un transformador de cargas generales para el edificio 2 y otro de los transformadores es exclusivo para el sistema de aire acondicionado.

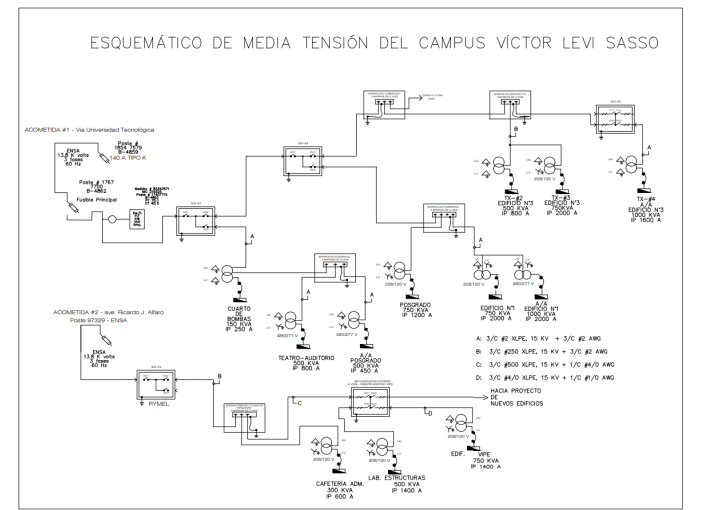


Figura 3b: Plano esquemático del CVLS.

2.2. Descripción del sistema de iluminación

El edificio 2 cuenta con un total de 2,306 iluminarias que están distribuidas entre los diferentes pisos y ubicaciones que realizan distintas actividades.

De las 2,306 iluminarias encontradas en el edificio fueron inventariadas 580, representando el 25.1% de las iluminarias totales, de estas 78 iluminarias se encontraban dañadas o en mal estado, por lo que se estima que el 13.45% de todas las iluminarias en el edificio se encuentren defectuosas.

La mayoría de las iluminarias encontradas en el edificio son de tubos fluorescentes T8 de 32 W encontrados en diversas áreas del edificio como pasillos, salones de clases, oficinas, baños y cafetería. Otros tipos de iluminarias encontrados fueron tubos LED, tubos U fluorescentes y bombillas fluorescentes, como se aprecia en la figura 3.



Figura 4: Tipos de lámparas en el edificio 2: a) Tubos Fluorescentes b) Tubos LED c) Tubos-U Fluorescentes d) Bobillos Fluorescentes.

2.3. Descripción del sistema de acondicionamiento de aire

La producción centralizada de frío se realiza mediante un Chiller de la marca TRAEN situado en la parte posterior izquierda del Edificio 2, como se muestra en la figura 4, con una capacidad frigorífica de 155 Ton.

El Edificio 2 cuenta con 16 Unidades Manejadoras de Aire (UMA), las cuales se encuentran distribuidas a lo largo de las diferentes zonas entre los 3 pisos que tiene el edificio.

También se cuenta en el edificio con Acondicionadores de Aire tipo Mini Split inverter con capacidades desde los 12,000 hasta los 60,000 BTU/h. que debido a modificaciones posteriores al diseño del edificio fue necesario la instalación de estos equipos.



Figura 5: Chiller del Edificio 2.

2.4. Descripción de equipos generales

En el edificio se realizan diferentes tipos de actividades; en estas ubicaciones se pueden encontrar otros tipos de equipos o aparatos que consumen energía eléctrica. Por medio de un inventario en las diferentes plantas del edificio, es posible identificar los principales equipos encontrados en el edificio.

Para la planta baja se inventariaron 5 ubicaciones entre pasillos y oficinas de lo cual se pudo encontrar, principalmente: bebederos de agua, computadoras (monitor y CPU) e impresoras.

En el segundo alto se inventariaron 8 ubicaciones donde: los pasillos solo contaban con bebederos de agua, en la cafetería se pudieron encontrar desde televisores, microondas, refrigeradoras y cafeteras. Y en los salones de clases solo había un proyector multimedia.

En el segundo alto se visitaron 6 ubicaciones, en su mayoría salones de clases y un baño, encontrado proyectores multimedia y secadores de manos.

3. MONITOREO Y MEDICIONES

Durante la visita a las instalaciones, se obtiene y recopila información del edificio auditado.

3.1. Mediciones en el sistema de iluminación

Durante las visitas a las instalaciones, se realizaron mediciones de los niveles de iluminación para corroborar el cumplimiento de la normativa internacional referente a la iluminación en puestos de trabajo. Esta normativa es la norma UNE-EN-12464-1(AENOR, 2012), la cual muestra los principales niveles de iluminación requeridos (E_r) para distintas actividades en un edificio educativo y de oficinas.

A ejemplo, en la tabla 2 se presentan los Niveles de Iluminación muestreados en el Primer Alto, teniendo como resultado que, de las 5 ubicaciones, el 20% de estas cumplen con la dosis de iluminación, mientras que solo el 37.5% cumplen con la Uniformidad.

En resumen, de las 19 ubicaciones visitadas entre todos los pisos, solo 10 cumplieron con la Dosis de Iluminación, 4 con la Uniformidad y no hubo ninguna ubicación que cumpliera con ambos criterios, al mismo tiempo.

Tabla 3: Niveles de Iluminación en la Planta Baja

Ubicación	Actividad	Em (Lux)	Er (Lux)	Dosis de Iluminación [Em/Er]	Valoración	Uniformidad (%)
2A	Pasillo	222	100	2.22	Deslumbrante	44.1%
2B	Pasillo	295	100	2.95	Deslumbrante	66.1%
56	Oficina	331	500	0.66	Bajo	71.5%
61	Oficina	760	500	1.52	Deslumbrante	65.6%
69	Oficina	404	500	0.81	Óptimo	63.4%

3.2. Mediciones de temperatura y humedad

El confort térmico es la sensación que expresa la satisfacción de los usuarios de los edificios con el ambiente térmico, por lo tanto, el confort es subjetivo y depende de diversos factores, principalmente de la temperatura y humedad relativa del aire interior.

Una de las primordiales funciones de los edificios es proveer ambientes interiores que sea térmicamente confortables, por lo que

Inventario del consumo de energía...

durante la visita al Edificio 2 se tomaron mediciones de sensación térmica para diferentes ubicaciones.

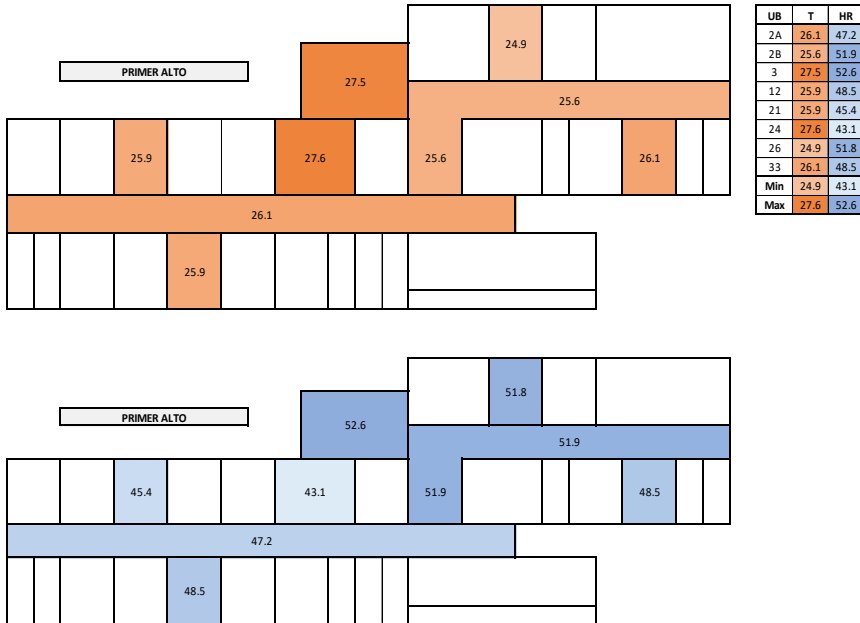


Figura 6: Valores de temperatura y humedad registrados en el primer alto.

Para el caso del primer alto se visitaron 9 ubicaciones donde las temperaturas más altas fue de 27.6 °C en la ubicación 24 y la más baja registrada de 24.9 °C en la ubicación 26. Mientras que la máxima y mínima Humedad Relativa medida fue de 52.6% y 43.1% en las ubicaciones 3 y 24, respectivamente, como se aprecia en la figura 5.

Cabe señalar que las máximas y mínimas temperaturas registradas en el edificio fueron de 27.9 °C y de 23.2 °C respectivamente, ambos valores fueron encontrados en el segundo alto. Mientras que, para el caso de la humedad relativa, el máximo valor fue de 61.4% y el mínimo de 43.1%, estos valores fueron registrados en la planta baja y en el primer alto respectivamente.

3.3. Mediciones termográficas

Como complemento a la inspección visual, se ha llevado a cabo un análisis termográfico de diferentes áreas y equipos en el edificio para

detectar posibles sobrecalentamientos, deterioro de componentes o temperaturas de superficies.

En base a las imágenes termográficas captadas, se analizaron las temperaturas de distintas zonas del edificio como las paredes exteriores e interiores, ventanas (con y sin cortinas), puertas, también equipos como el Chiller y además en la figura 6 se aprecia un claro deterioro en las uniones de la tubería que conducen agua fría hasta el interior del edificio, lo que puede llegar a afectar el correcto funcionamiento del sistema.

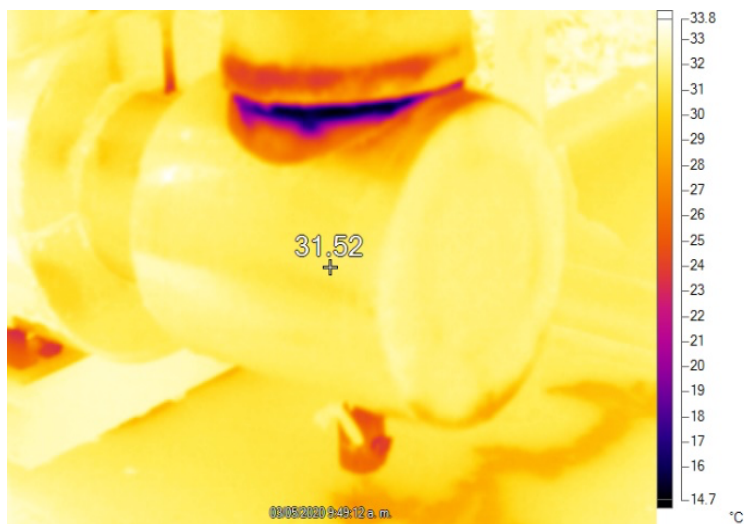


Figura 7: Termografía de las tuberías de agua fría.

4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

A partir del inventario energético realizado se determina que el Edificio 2 presenta un consumo energético de 4,091.14 kWh/d.

La planta baja es el mayor consumidor de energía con 1,243.91 kWh/d representando el 30% del consumo total, seguido por el Chiller y el primer alto con el 26% cada uno y el segundo alto con el 18% restante como se aprecia en la figura 7.

Inventario del consumo de energía...

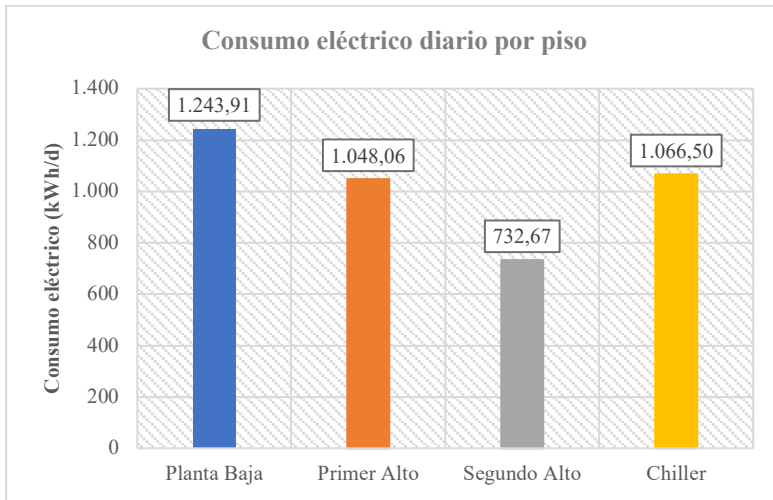


Figura 8: Consumo eléctrico diario por piso.

En la figura 8, se muestran los consumos eléctricos por los diferentes sistemas en el Edificio 2, donde el sistema de Acondicionamiento de Aire o Climatización es el mayor consumidor de energía con 2,845.16 kWh/d representando el 69% de la demanda total, mientras que el Sistema de Iluminación y los Equipos Generales solo representan el 17% y 14%, respectivamente.

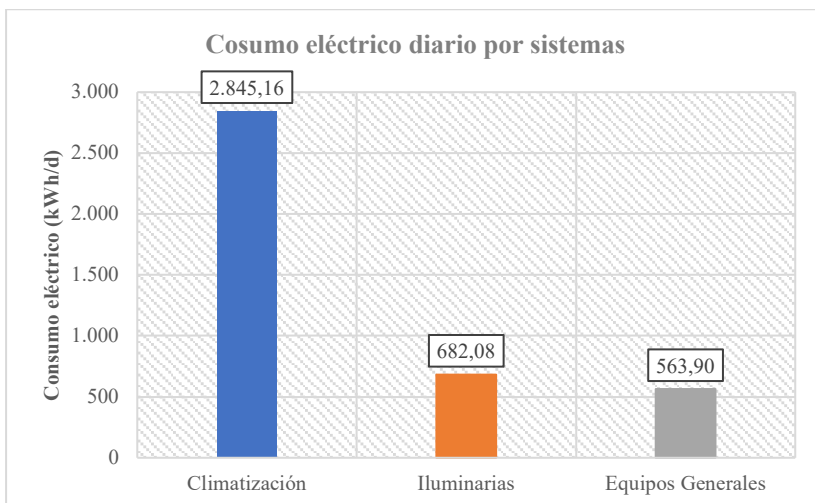


Figura 9: Consumo eléctrico diario por piso.

4.1. Análisis del consumo de energía del sistema de iluminación

El consumo de energía del Sistema de iluminación en el Edificio 2 es de 682.08 kWh/d, donde el mayor consumo de energía se observa en el primer alto con 253.84 kWh/d representando el 37.2% del consumo total de este sistema, seguido la planta baja con 223.12 kWh/d y el segundo alto con 205.12 kWh/d que representan el 32.7% y el 30.1%, respectivamente como se muestra en la figura 9.

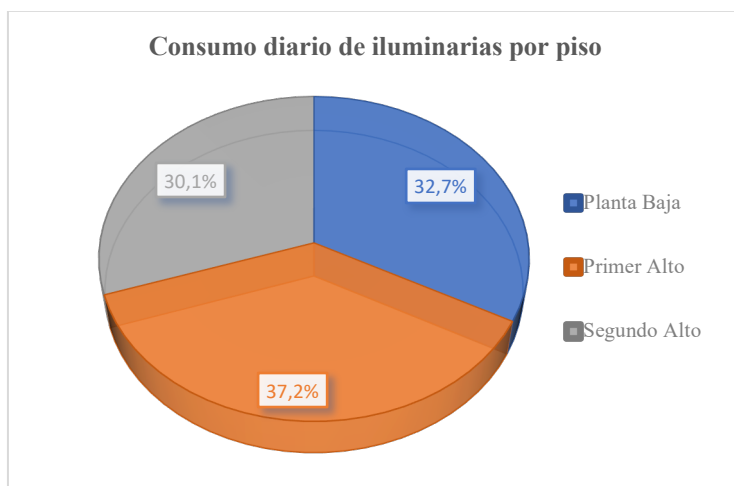


Figura 10: Consumo diario de iluminarias por piso.

También se analiza la distribución de las iluminarias por las diferentes actividades que realizan en el edificio. Como se muestra en la figura 10, los salones de clases son los mayores consumidores de energía con respecto al sistema de iluminación, con una demanda de energía de 321.44 kWh/d representando el 47.1% del consumo total del sistema de iluminación. Las oficinas también reflejan un consumo representativo para el edificio con el 25.9%, lo que se traduce a un consumo diario de 176.45 kWh.

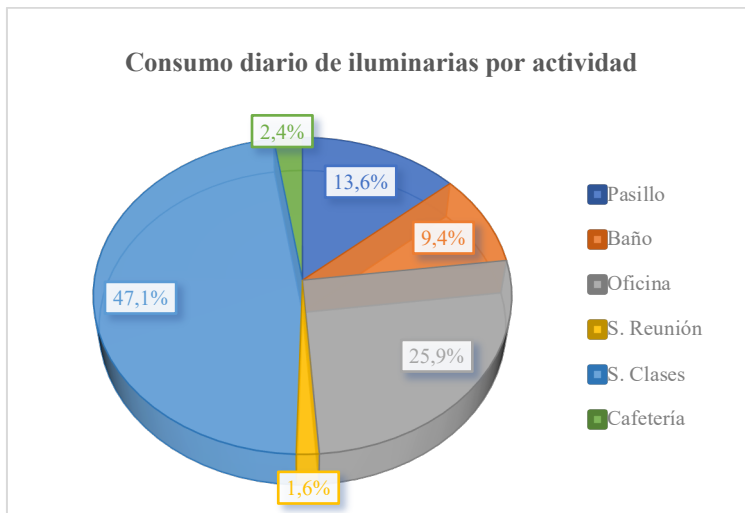


Figura 11: Consumo diario de iluminarias por actividad.

Además, se ha analizado el tipo de iluminarias encontradas en el edificio. Como se puede ver en la figura 11 las iluminarias de Tubo Fluorescentes son los mayores consumidores de energía en el Sistema de iluminación con una demanda energética de 586.96 kWh/d, representando el 86.1% del consumo total, mientras que las iluminarias de Tubo LED, Tubo U Fluorescentes y Bombillos Fluorescentes representan un consumo inferior.

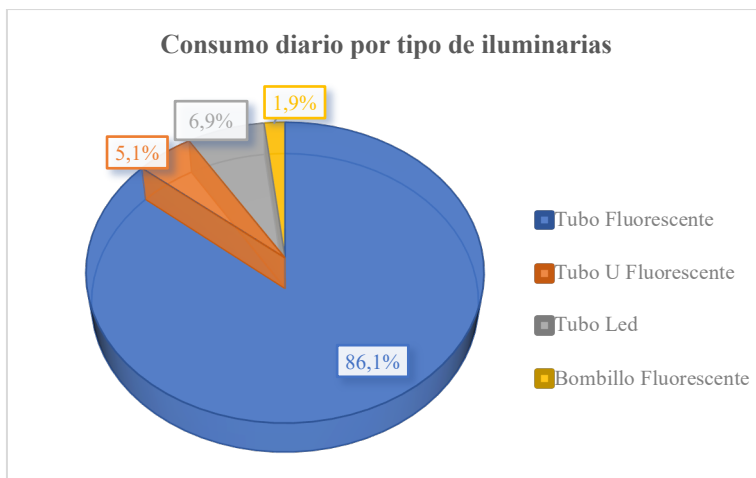


Figura 12: Consumo diario por tipo de iluminarias.

4.2. Análisis del consumo de energía del sistema de acondicionamiento de aire

El Sistema de Acondicionamiento de Aire presenta un consumo de 2,845.16 kWh/d, siendo las UMAS y el Chiller los mayores consumidores de energía con 1,092.98 kWh/d y 1,066.50 kWh/d, respectivamente, que representa cada uno el 38% del consumo total de este sistema, seguidos los equipos Mini-Split con apenas el 24%; como se aprecia en la figura 12.

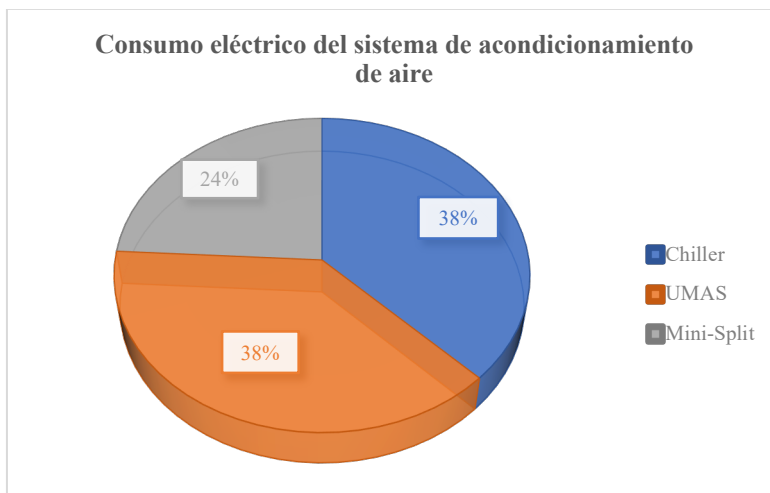


Figura 13: Consumo diario del sistema de acondicionamiento de aire.

4.3. Análisis del consumo de energía de equipos generales

Los Equipos Generales presentan un consumo diario de 563.90 kWh, donde la mayor demanda de energía se presenta en la Planta Baja con 287.91 kWh/d representando el 51.1%, seguido por el Primer Alto con 178.52 kWh/d y el Segundo Alto con 97.46 kWh/d, como se aprecia en la figura 13.

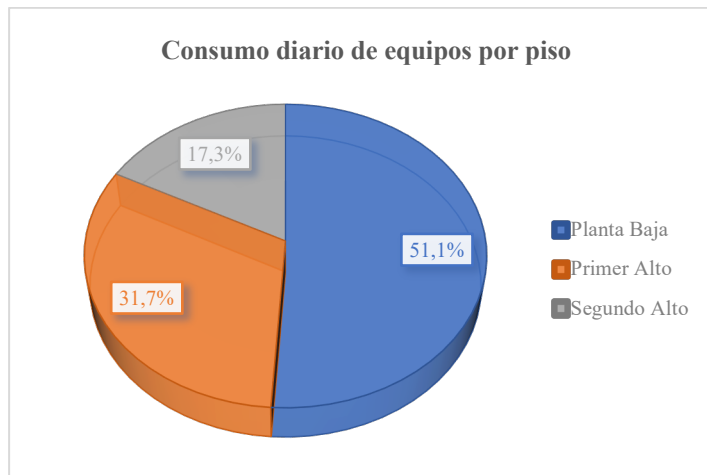


Figura 14: Consumo diario de equipos por piso.

Además, también se analiza la distribución del consumo de energía de los Equipos Generales por actividad. La mayor demanda de energía se concentra en las Oficinas con 294.64 kWh/d representando el 52.3%, seguido por los Salones de clases con 162.70 kWh/d siendo el 28.9%, el resto de las actividades representan la minoría del consumo energético para los Equipos Generales como se aprecia en la figura 14.

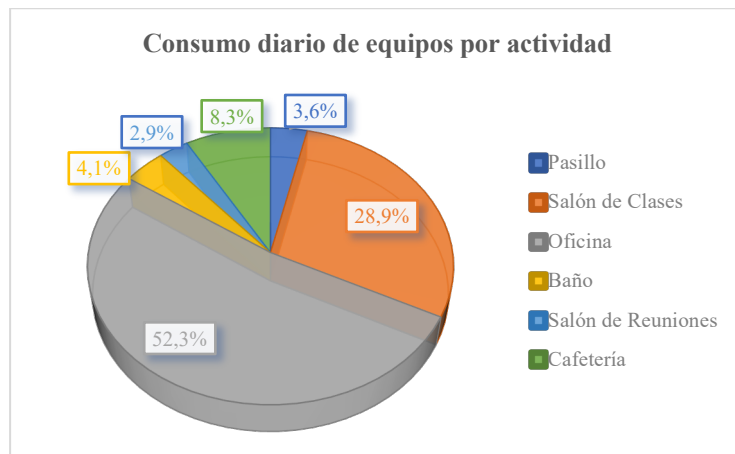


Figura 15: Consumo diario de equipos por actividad.

5. SIMULACIÓN Y MODELADO ENERGÉTICO

Para el diseño arquitectónica del edificio se utilizan los planos originales del Edificio N°2 (Dirección Nacional de Infraestructura, 1999) y se procede a especificar las dimensiones del edificio con la ayuda del software Autodesk Revit, como se observa en la figura 15.

Una vez completado el diseño, se procede a definir el tipo de actividad que se realiza, que para este caso se ha seleccionado en las Opciones avanzadas de configuración de energía, el tipo de edificación para un centro educativo y con una tabla de planificación de operación de Instalación 12/6.

Para el caso del sistema de acondicionamiento de aire, se ha seleccionado una enfriadora para todo el edificio de 12 SEER, que está refrigerada por aire con sistema del tipo volumen constante.

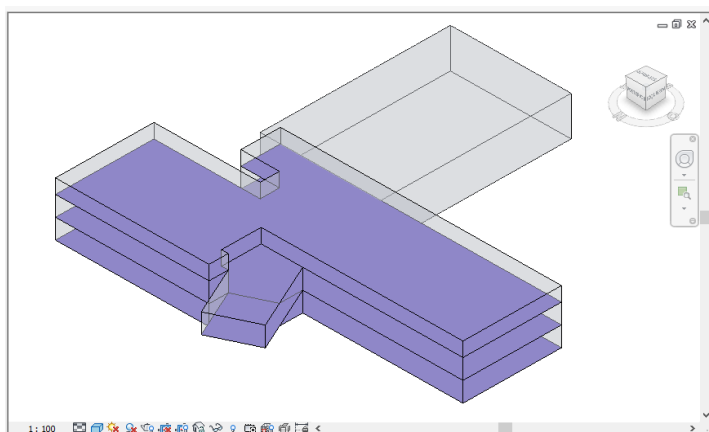


Figura 16: Diseño Arquitectónico Preliminar del Edificio 2 en Revit.

En cuanto a la envolvente se consideró para las paredes muros de hormigón de 8 pulgadas, el Techo Chapa de acero con falso techo y ventanas con cristal sencillo – oscurecido.

En el edificio en cuestión, como se sabe, no solo se realizan actividades de un centro educativo, también algunas actividades administrativas, entre otras. Por lo que es importante definir aquellas zonas en el edificio donde se realizan diferentes actividades por cada uno de sus pisos.

Inventario del consumo de energía...

Por medio de Insight 360 de Autodesk, es posible visualizar los resultados de la simulación energética del edificio, como se observa en la figura 16.

El Edificio 2 presenta un consumo de energía anual de 245 kWh/m² para una superficie analizada de 5,053 m², lo que representa un consumo de 1,238 MWh/año o de 4,093.65 kWh/d. Donde el 61.9% de este consumo lo representa el sistema de acondicionamiento de Aire, el 18.6% iluminarias y 19.5% otros consumos (equipos generales).

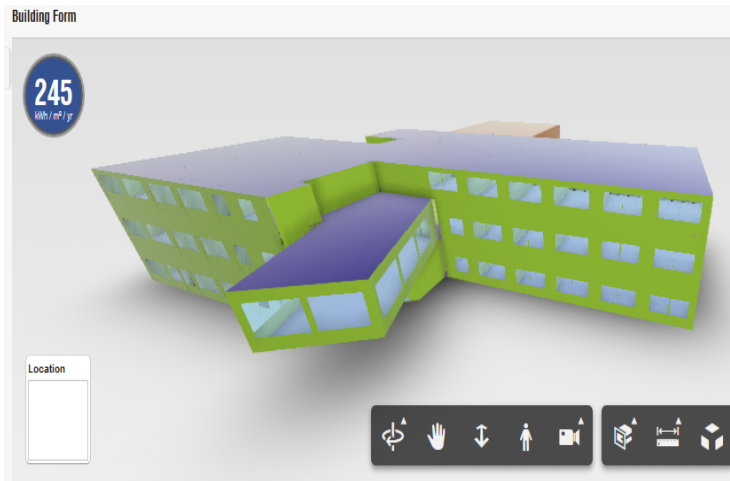


Figura 17: Resultados del modelado energético para el Edificio 2.

6. PROPUESTAS DE MEJORA AL EDIFICIO 2

Se han identificado 3 áreas de oportunidad que ofrecen un gran potencial de ahorro de energía en el edificio como lo son el sistema de iluminación, sistema de acondicionamiento de aire y energías renovables.

Estas áreas se encuentran resumidas en la tabla 3, donde la propuesta de mejora de mayor impacto para el edificio, en materia de ahorro energético, es el área de las energías renovables.

Tabla 4: Propuestas de Mejoras al Edificio 2.

Áreas	Propuesta de Mejora	Ahorro Diario (kWh)	Ahorro Anual (kWh)	Ahorro Porcentual	Ahorro Económico Anual
Sistema de Iluminación	Iluminarias LED	384.11	116,154.86	9.38%	B/. 17,734.52
	Sensores de Ocupación	83.55	25,266.61	2.04%	B/. 3,857.71
Sistema A/A	Sistema de Volumen Variable	501.29	151,590	12.24%	B/. 23,144.76
Energías Renovables	Paneles Fotovoltaicos	1,219.57	471,425	38.08%	B/. 70,714.00
Total		2,188.52	764,436.47	61.75%	B/. 115,450.99

Con la implementación de paneles solares en el Techo del edificio se puede conseguir un ahorro hasta del 38%. Otras de las medidas más significativas para el ahorro de energía es el reemplazo del sistema de acondicionamiento de aire actual por un sistema de volumen variable llegando a ahorrar hasta un 12.24%. Además, reemplazando las iluminarias actuales fluorescentes por iluminarias de tipo LED se obtienen ahorros de 9.38% y al agregar sensores de ocupación en todas las ubicaciones del edificio se ahorrar un 2.04% adicional.

Si se implementan todas las medidas sugeridas se puede lograr ahorro en energía eléctrica 764,436 kWh/años equivalentes a \$115,451 ahorrados por año.

El período de amortización de este estudio de prefactibilidad corresponde a 10 años de acuerdo con el tipo y a las características técnicas indicadas. Este período se encuentra establecido en la “*Guía Metodología General para la Formulación y Evaluación de Proyectos de Inversión Pública*”(Ministerio de Economía y Finanzas de Panamá, 2021).

El área de actividad de este proyecto corresponde a la categoría de infraestructuras. La inversión inicial presente de este proyecto corresponde a un total de 250,000 dólares americanos aproximadamente.

Tabla 5: Análisis de la viabilidad del proyecto.

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inversión inicial	250 000										
Ahorro económico anual		115,4 51	117, 772	118, 949	120, 139	121, 340	122, 554	123, 779	125, 017	126, 267	127, 530
Incremento porcentual del ahorro económico			1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%
Costo de mantenimiento anual(personal) salario base anual 14000 dólares		1440 0	1440 0	1468 8	1468 8	1468 8	1498 2	1498 2	1498 2	1528 1	1528 1
% incremento bienal (personal)				2%			2%			2%	
Utilidad anual		- 148,9 49	- 45,5 77	58,6 84	164, 135	270, 787	378, 359	487, 156	597, 191	708, 177	820, 425

La tabla 5 presenta un análisis de factibilidad técnica-económica de naturaleza conservadora. El proyecto requiere una inversión inicial de 250,000 dólares americanos. Se utiliza el valor estimado de 115,451 dólares americanos como Ahorro Económico Anual con un incremento de 1% anual para un periodo de 10 años. El costo de mantenimiento anual se engloba en un valor inicial de 12000 dólares anuales con un incremento del 2%

7. EVALUACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO

El Edificio 2 presenta un consumo de 1,237.99 MWh/año y donde para el caso en específico de Panamá en un estudio del 2017, presenta que se emiten a la atmosfera 0.191 Ton CO₂ por MWh consumidos (O. G. Valladares & ONU medio ambiente, 2019). Por lo que al año el Edificio estaría emitiendo 236.46 Ton CO₂ a la atmósfera.

Al implementar todas las medidas propuestas en este estudio no solo se puede lograr un ahorro eléctrico en el edificio, sino también se puede evitar emitir 146.01 Ton CO₂ a la atmósfera, siendo la propuesta de paneles solares los que más aportan una disminución en la Huella de Carbono del Edificio.

8. CONCLUSIONES

Tras la realización del estudio en las instalaciones del Edificio 2 en el CVLS, se ha determinado zonas en el edificio de mayor demanda

energética, de igual manera los sistemas en el edificio que tienen un mayor consumo eléctrico.

Se estima que el Edificio 2 tiene un consumo energético teórico anual de 1,237.16 MWh, lo que refleja un gasto al año a la institución de \$188,889.70 aproximadamente.

A partir del inventario energético elaborado en este estudio se pudo verificar que el sistema de Acondicionamiento de Aire es el mayor consumidor de energía del Edificio 2, con el 69% del consumo total del edificio; por tal razón, se propone el remplazo del sistema de distribución actual de aire por un sistema de volumen variable con el fin de disminuir su consumo energético.

El Sistema de Iluminación representa el 17% del consumo total del edificio, donde también se encontraron diferentes tipos de iluminarias como bombillos fluorescentes, tubos U-Flux, tubos LED y tubos fluorescentes, donde estos últimos consumen cerca del 86% de la energía demandada por este sistema, por lo que se ha identificado como un gran potencial de ahorro energético al sustituir estas iluminarias por iluminarias de tipo LED.

Otra propuesta de mejora sugerida ha sido la de optar por las energías renovables, donde quizás no se refleje directamente en una disminución del consumo de energía, pero si en la reducción de la facturación eléctrica, de modo tal que al implementar un sistema solar fotovoltaico en el techo del edificio se puede conseguir ahorros hasta del 38% en la facturación eléctrica del Edificio 2.

La implementación de las propuestas de mejoras no solo beneficiará económicamente a la Institución, sino que además se disminuye el impacto del Edificio 2 con el medio ambiente, consiguiendo un ahorro total de 764.44 MWh/año y evitando emitir a la atmósfera 146.01 Ton CO₂ por año.

De acuerdo con la metodología general para la formulación y evaluación de proyectos de inversión pública del Ministerio de Economía y Finanzas de la República de Panamá a partir del tercer año de inversión se tendrá valores positivos de utilidad neta proyectada.

BIBLIOGRAFÍA

AbuGrain, M. Y., & Alibaba, H. Z. (2017), Optimizing existing multistory building designs towards net-zero energy. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 9, Issue 3).

Inventario del consumo de energía...

<https://doi.org/10.3390/su9030399>

AENOR. (2012), *Norma UNE-EN 12464-1. Iluminación. Iluminación de los lugares de trabajo. Parte 1: Lugares de trabajo en interiores* (p. 48). AENOR.

https://www.en.aenor.com/_layouts/15/r.aspx?c=N0029924

Allouhi, A., El Fouih, Y., Kousksou, T., Jamil, A., Zeraouli, Y., & Mourad, Y. (2015), Energy consumption and efficiency in buildings: Current status and future trends. In *Journal of Cleaner Production* (Vol. 109, pp. 118–130).

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.139>

Attia, S., Gratia, E., De Herde, A., & Hensen, J. L. M. (2012), Simulation-based decision support tool for early stages of zero-energy building design. *Energy and Buildings*, 49, 2–15.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S037877881200045X>

Banfi, S., Farsi, M., Filippini, M., & Jakob, M. (2008), Willingness to pay for energy-saving measures in residential buildings. *Energy Economics*, 30(2), 503–516.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eneco.2006.06.001>

BID. (2014), *Estudio base para Ciudad de Panamá: Estudio de Mitigación de Cambio Climático. Informe final. Iniciativa ciudades emergentes y sostenibles* (p. 174). BID. https://dpu.mupa.gob.pa/wp-content/uploads/2017/06/CE1_Informe-final-Panama.pdf

Briano, J., Báez, M., Moya- Morales, R., & Latina, D. de A. y E. de E.-B. de D. de A. (2016), *Estado de la eficiencia energética en Panamá: identificación de oportunidades*. <http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00383.pdf>

Budia- Sanchez, E. (2009), *Modelo de Auditoría Energética en el Sector Industrial* (p. 216). Universidad Carlo III de Madrid. <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/8175>

Carpio, C., & Coviello, M. (2013), *Eficiencia energética en América*

Latina y el Caribe: avances y desafíos del último quinquenio. Cepal.
https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/4106/1/S2013957_es.pdf

- Carriere, M., Shoenau, G., & Besant, R. (1999), Investigation of some large building energy conservation opportunities using the DOE-2 model. *Energy Conversion and Management*, 40, 861–872. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140988306000764>
- Christensen, C., Anderson, R., Horowitz, S., Courtney, A., & Spencer, J. (2006), BEopt Software for Building Energy Optimization: Features and Capabilities. In *Building America*. U.S. Department of Energy (Issue August, p. 21).
- Dawood, S., Crosbie, T., Dawood, N., & Lord, R. (2013), Designing low carbon buildings: A framework to reduce energy consumption and embed the use of renewables. In *Sustainable Cities and Society* (Vol. 8, pp. 63–71). <https://doi.org/10.1016/j.scs.2013.01.005>
- Dirección Nacional de Infraestructura. (1999), *Planos del Edificio N°2 de la Universidad Tecnológica de Panamá*. Dirección de Infraestructura. Universidad Tecnológica de Panamá.
- Feng, Y. Y., & Zhang, L. X. (2012), Scenario analysis of urban energy saving and carbon abatement policies: A case study of Beijing city, China. In *Procedia Environmental Sciences* (Vol. 13, pp. 632–644). <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2012.01.055>
- García-Sanz-Calcedo, J., Al-Kassir, A., & Yusaf, T. (2018), Economic and environmental impact of energy saving in healthcare buildings. In *Applied Sciences (Switzerland)* (Vol. 8, Issue 3). <https://doi.org/10.3390/app8030440>
- Garcia, J. (2010), *LA NORMA UNE 216501:2009 REQUISITOS DE LAS AUDITORÍAS ENERGÉTICAS*. AENOR. <https://static.eoi.es/savia/documents/componente67238.pdf>
- Heo, Y., Godfried, A., Muehleisen, R., & Guzowskic, L. (2015), Scable

- methodology for large scale building energy improvement: relevance of calibration in model-based retrofit analysis. *Building and Environment*, 87, 342–350. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.12.016>
- Iberinco. (2009), *Manual de procedimientos para la realización de auditorías energéticas en edificios*. Junta de Castilla y León. <http://www.comunidadism.es/wp-content/uploads/downloads/2014/02/Manual-procedimiento-auditorías-energét-I.pdf>
- IDAE. (2001), *Guía técnica de eficiencia energética en iluminación: Centros docentes*. In IDAE (p. 87). IDAE. https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_5573_GT_iluminacion_centros_docentes_01_6803da23.pdf
- Jalaei, F., & Jade, A. (2014), Integrating BIM with green building certification system, energy analysis, and cost estimating tools to conceptually design sustainable buildings. In ASCE (Ed.), *Construction Research Congress 2014: Construction in a Global Network - Proceedings of the 2014 Construction Research Congress* (pp. 140–149). ASCE. <https://doi.org/10.1061/9780784413517.015>
- Jaramillo, C. (2018). *Informe del Consumo Electrico UTP 2018*.
- Kolokotsa, D., Diakaki, C., Grigorousdis, E., Stavrakakis, G., & kalaitzakis, K. (2009), Decision support methodologies on the energy efficiency and energy management in buildings. In *Advances in building energy research* (3rd ed., pp. 121–146). Earthscan. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.3763/aber.2009.0305>
- López- López, G., & Figueroa -Barrionuevo, E. (2015), *Auditoría Energética de los Edificios Administrativo y Docente para Disminuir el Consumo de Energía Eléctrica. (Vol. 151)* (p. 217). Universidad Técnica de Ambato, Ecuador. <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/12380>
- Mahmoud, A. S., Asif, M., Hassanain, M. A., Babsail, M. O., & Sanni-Anibire, M. O. (2017), Energy and economic evaluation of green roofs for residential buildings in hot-humid climates. In *Buildings*

(Vol. 7, Issue 2). <https://doi.org/10.3390/buildings7020030>

Malatji, E., Jiangfeng, Z., & Xia, X. (2013), A multiple objective optimisation model for building energy efficiency investment decision. In IFAC (Ed.), *IFAC Power Plant and Power Systems control 2012* (p. 30). IFAC. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.01.042>

Ministerio de Economía y Finanzas de Panamá. (2021), *Guía Metodología General para la Formulación y Evaluación de Proyectos de Inversión Pública* (p. 103). Dirección de Programación de Inversiones. Ministerio de Economía y Finanzas de Panamá.

Ministerio de la Presidencia de Panamá. (2020), *Resolución de Gabinete N°93. De 24 de noviembre del 2020. Que aprueba los lineamientos estratégicos de la Agenda de transición energética. Gaceta Oficial digital N°29163-B* (Issue 28634, p. 8). Gobierno de la República de Panamá. https://www.gacetaoficial.gob.pa/pdfTemp/28090_A/GacetaNo_28090a_20160805.pdf

Mjörnell, K., Boss, A., Lindahl, M., & Molnar, S. (2014). A tool to evaluate different renovation alternatives with regard to sustainability. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 6, Issue 7, pp. 4227–4245). <https://doi.org/10.3390/su6074227>

Mora, D., De Simone, M., & Chen Austin, M. (2020), Technologies for occupancy monitoring in buildings/ Tecnologías para la detección de ocupación en edificios. *PRISMA Tecnológico*, 11(1), 17–22. <https://doi.org/https://doi.org/10.33412/pri.v11.1.2530>

Mytafides, C., Dimoudi, A., & Stamatis, Z. (2017),. Transformation of a university building into a zero energy building in Mediterranean climate. *Energy and Buildings*, 155, 98–114. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.07.083>

O. G. Valladares, & ONU medio ambiente, (2019), *Manual del curso de Sistemas de Calentamiento Solar de Agua (SCSA) para profesores* (p. 122).

Inventario del consumo de energía...

- Ordóñez-Romero, F. (2015), *Auditoría Energética en Edificio de Oficinas Centrales de Empresa Municipal de Limpieza* (p. 167). Universidad de Sevilla (España). <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/objetos/tutorial279.pdf>
- Perlman, G., & Pava, P. (2019), *Diversificación de la matriz energética de Panamá* (p. 50). Centro de Indígena Ambiental de Panamá (CIAM). https://www.mcgill.ca/pfss/files/pfss/diversificacion_de_la_matriz_energetica_de_panama.pdf
- Pitti, R., Aguilar, C., Pérez, E., & Serrano, V. (2018), Control de consumo eléctrico residencial automatizado. *Revista de Iniciación Científica*, 4(Especial), 15–22. <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/ric/article/view/1813/2622>
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2017), *Plan Energético Nacional 2014-2050* (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (ed.); Primera). Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). [https://www1.undp.org/content/dam/rblac/docs/Research and Publications/Repository/Panama/UNDP-RBLAC-EnergiaPA.pdf](https://www1.undp.org/content/dam/rblac/docs/Research_and_Publications/Repository/Panama/UNDP-RBLAC-EnergiaPA.pdf)
- Rackes, A., & Waring, M. S. (2014), Using multiobjective optimizations to discover dynamic building ventilation strategies that can improve indoor air quality and reduce energy use. *Energy & Buildings*, 75, 272–280. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.02.024>
- Rackes, A., & Waring, M. S. (2017), Alternative ventilation strategies in U.S. offices: Comprehensive assessment and sensitivity analysis of energy saving potential. In *Building and Environment* (Vol. 116, pp. 30–44). <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.01.027>
- Rasheed, A., Kwak, C. S., Kim, H. T., & Lee, H. W. (2020), Building energy an simulation model for analyzing energy saving options of multi-span greenhouses. In *Applied Sciences (Switzerland)* (Vol. 10, Issue 19, pp. 1–23). <https://doi.org/10.3390/app10196884>
- Rey, F., Velasco, E., & Varela, F. (2007), Building Energy Analysis

- (BEA): A methodology to assess building energy labelling. *Energy and Buildings*, 39, 709–716. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778806002477>
- Roberto Gómez Girini, Graciela René López, J. F. F. (2012), *Metodología Para Auditorías Energeticas En Edificios* (p. 17).
- Rodriguez-Piedracoba, E. (2016), *METODOLOGÍA PARA LA REALIZACIÓN DE AUDITORÍAS ENERGÉTICAS EN EMPRESAS DE SERVICIOS Y SU MONITORIZACIÓN* (p. 128). Universidad Politécnica de Madrid. http://oa.upm.es/43756/1/TFG_ESTHER_RODRIGUEZ_PIEDRAC_OBA.pdf
- Sadeghifam, A., Zahraee, S., & Meynagh, M. (2015), Combined use of design of experiment and dynamic building simulation in assessment of energy efficiency in tropical residential buildings. *Energy and Buildings*, 86, 525–533. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778814008974>
- Secretaría Nacional de Energía de Panamá. (2019), *GENERACION ELECTRICA (CEE 1970-2018)*.
- Secretaría Nacional de Energía de Panamá. (2020), *Informe Nacional de Monitoreo de la Eficiencia Energética de Panamá, 2020* (p. 88).
- Segundo, D., Araúz, A., Mora, A., & Isaac-Perén, J. (2017), Primer paso en la eficiencia energética, confort ambiental y sostenibilidad de edificios en Panamá: percepción ambiental de usuarios de la Casa Matriz del Banco Nacional de Panamá. *Revista de Iniciación Científica. Edición Especial*, 3(17). <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/ric/article/view/1458>
- Setiawan, A. F., Huang, T. L., Tzeng, C. T., & Lai, C. M. (2015), The effects of envelope design alternatives on the energy consumption of residential houses in Indonesia. In *Energies* (Vol. 8, Issue 4, pp. 2788–2802). <https://doi.org/10.3390/en8042788>

Inventario del consumo de energía...

Sher, F., Kawai, A., Güleç, F., & Sadiq, H. (2019), Sustainable energy saving alternatives in small buildings. In *Sustainable Energy Technologies and Assessments* (Vol. 32, pp. 92–99). <https://doi.org/10.1016/j.seta.2019.02.003>

Siew, C. C., Che-Ani, A. I., Tawil, N. M., Abdullah, N. A. G., & Mohd-Tahir, M. (2011), Classification of natural ventilation strategies in optimizing energy consumption in Malaysian office buildings. In *Procedia Engineering* (Vol. 20, pp. 363–371). <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.11.178>

Superintendencia de Riesgos de trabajo. (2012). *La iluminación en el ambiente laboral Guía Práctica N°1*.

Touloupaki, E., & Theodosiou, T. (2017), Optimization of Building form to Minimize Energy Consumption through Parametric Modelling. In *Procedia Environmental Sciences* (Vol. 38, pp. 509–514). <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2017.03.114>

Universidad Tecnológica de Panamá. (2018), *Objetivos estratégicos*. Plan de Desarrollo Institucional (2018-2030). https://utp.ac.pa/documentos/2020/pdf/objetivos-estrategicos-pdi-2018-2030_.pdf

Universidad Tecnológica de Panamá. (2019a), *Plano esquemático de media tensión del campus Victor Levi Sasso* (p. 1). Dirección general de ingeniería y arquitectura.

Universidad Tecnológica de Panamá. (2019b), *Sección de la acometida eléctrica del edificio 2* (p. 1). Dirección general de ingeniería y arquitectura.

Universidad Tecnológica de Panamá. (2021a), *Gestión*. Plan de Desarrollo Institucional (2018 - 2030) > Áreas de Desarrollo. <https://utp.ac.pa/gestion>

Universidad Tecnológica de Panamá. (2021b), *Plan de Desarrollo Institucional (2018 - 2030)*. Conoce La UTP. <https://utp.ac.pa/plan-de-desarrollo-institucional-2018-2030>

- Villarreal, D., & Candanedo, M. (2020), Efecto de las islas de calor urbano en las principales vías de la Ciudad de Panamá. *Revista de I+D Tecnológico*, 16(2), 12. <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/id-tecnologico/article/view/2829/3502>
- Yamaguchi, Y., Shimoda, Y., & Mizuno, M. (2003), Development of district energy system simulation model based on detailed energy demand model. In *Proceeding of Eighth International IBPSA Conference* (pp. 1443–1450). <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.156.3147&rep=rep1&type=pdf>
- Zabalza, I., Scarpellini, S., Aranda, A., Llera, E., & Jáñez, A. (2013), Use of LCA as a tool for building ecodesign. A case study of a low energy building in Spain. In *Energies* (Vol. 6, Issue 8, pp. 3901–3921). <https://doi.org/10.3390/en6083901>