



Ingeniería

ISSN: 1409-2441

ISSN: 2215-2652

Universidad de Costa Rica

Solís Acuña, Mariana; Mata Abdelnour, Erick
Metodología para la gestión de recursos de consumo energético durante el proceso constructivo
Ingeniería, vol. 32, núm. 2, 2022, Julio-Diciembre, pp. 87-114
Universidad de Costa Rica

DOI: <https://doi.org/10.15517/ri.v32i2.49974>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=44172046005>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org



Sistema de Información Científica Redalyc
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto

<https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/ingenieria/index>
www.ucr.ac.cr / ISSN: 2215-2652

Ingeniería

Revista de la Universidad de Costa Rica
JULIO/DICIEMBRE 2022 - VOLUMEN 32 (2)

The logo for Editorial UCR, featuring three horizontal white bars of increasing length above the text "EDITORIAL UCR" in a white, sans-serif font.

EDITORIAL
UCR

Metodología para la gestión de recursos de consumo energético durante el proceso constructivo

Methodology for the energy consumption resources management during the construction process

Mariana Solís Acuña

Escuela de Ingeniería Civil

Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica

e-mail: mariana.sa26@hotmail.com

Código Orcid: 0000-0002-6479-6218

Erick Mata Abdelnour

Escuela de Ingeniería Civil

Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica

e-mail: eric.mata@ucr.ac.cr

Código Orcid: 0000-0001-8592-0671

Recibido: 3 de febrero de 2022

Aceptado: 17 de junio de 2022

Resumen

En Costa Rica, existe un vacío en la creación de políticas para la gestión eficiente del consumo de recursos y del desarrollo de estadísticas de consumo de energía, que permita medir el desempeño de la sostenibilidad en la construcción. Por lo tanto, se realizó una investigación con el propósito de reconocer el estado de desarrollo de control y la gestión eficiente de recursos de consumo energético en la construcción a nivel internacional y nacional. Posteriormente, se desarrollaron procesos y herramientas para la creación de una metodología con el fin de generar una primera aproximación para estimar y registrar el consumo energético de edificaciones verticales en construcción y definir estadísticas en desempeño. Esta se aplicó en dos proyectos de edificios verticales durante la construcción de obra gris con el fin de analizar la gestión del consumo de recursos. Además, esta metodología propuesta obtuvo un alto grado de aceptación por parte de un comité de validación, la cual fue considerada válida para la estimación y registro de estadísticas de sostenibilidad a lo largo del desempeño en el proyecto, lo cual ayuda a tener un control de los consumos de recursos.

Palabras clave:

Combustible, construcción sostenible, electricidad, estimación de consumo, metodología, recurso energético.

Abstract

In Costa Rica, there is a gap in the creation of policies for the efficient management of resource consumption and the development of energy consumption statistics to enable the measurement of the performance of sustainability in construction. Therefore, this investigation was carried out with the purpose of recognizing the state of control and efficient management development of energy resources consumption in the construction sector, both at an international and national level. Subsequently, processes and tools were



developed to create a methodology with the purpose of generating an initial approximation to estimate and record the energy consumption of vertical buildings during construction and define performance statistics. This methodology was applied to two vertical building projects during the construction of gray structure work to analyze the management of resource consumption. During the process, this proposed methodology obtained a high degree of acceptance from a validation committee, who saw its potential for the estimation and recording of sustainability statistics throughout the performance of the project, and how it could help to control resource consumption.

Keywords:

Consumption estimation, electricity, energy resource, fuel, methodology, sustainable construction.

1. INTRODUCCIÓN

Según [1] el desarrollo sostenible se define como “la satisfacción de las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”. La sostenibilidad tiene una visión equilibrada de tres aspectos fundamentales, que definen cualquier actividad humana: 1) el impacto sobre el medio ambiente; 2) la repercusión social; y 3) la sostenibilidad económica.

Asimismo, la sostenibilidad en la construcción se puede definir como:

Aquella que, teniendo especial respeto y compromiso con el medio ambiente, implica el uso eficiente de la energía y del agua, los recursos y materiales no perjudiciales para el medioambiente, resulta más saludable y se dirige hacia una reducción de los impactos ambientales. [2, p. 1]

El sector de la construcción es responsable de un porcentaje muy elevado del consumo energético y de la utilización de los recursos naturales disponibles, este posee un gran compromiso con el planeta a nivel ambiental; algunos de estos compromisos planteados por [3], se presentan a continuación:

- 1) Un consumo energético medido y justificado;
- 2) utilización de energías renovables;
- 3) utilización de recursos reciclables y renovables en la construcción;
- 4) promover la fabricación de productos que puedan reducir los efectos ambientales.

Por otra parte, en el aspecto económico, se reconocen los impactos en relación con los clientes, proveedores, empleados, inversionistas y el sector público. Los principales beneficios económicos se basan en la optimización del consumo energético, ahorro de agua potable, reducción de costos de la construcción, operación y mantenimiento, distinciones por parte de organismos especializados y aumento de productividad, según lo menciona [4].

Por último, el desempeño de la construcción en el aspecto social se relaciona con los impactos que causa la organización a los sistemas sociales según [3], por ejemplo, política interna de información, creación de empleo, plan de seguridad y salud e integración social en ambientes de trabajo cómodos.

No se trata solamente de construir mejor, sino de no desperdiciar los recursos naturales como la madera, el agua y la energía, como lo explica [5]. En resumen, la sostenibilidad en el desarrollo de proyectos se debe implementar en cada etapa del ciclo de vida de la obra, es decir, en el planeamiento, diseño, construcción, operación, mantenimiento y deconstrucción, mediante estándares de calidad y productividad. Asimismo, esta persigue la creación de edificaciones que puedan mantener o mejorar la calidad de vida de sus habitantes; la armonización con el clima, la tradición, la cultura y el ambiente de la región a la que pertenezca, se conservan los recursos de consumo y se reducen las sustancias peligrosas, según lo menciona [3].

La industria de la construcción es reconocida por el gran número de puestos de trabajo que genera, pero es también la responsable de un porcentaje muy elevado de contaminación medioambiental. Primero, con la extracción de materias primas para producir materiales de construcción y sus procesos industriales de producción, luego, con el diseño de la obra, la construcción, la operación durante su vida útil, el mantenimiento y, finalmente, la deconstrucción.

La creación de obras constructivas es fundamental para el desarrollo de la sociedad y un indicador claro de la economía de cualquier país. Por lo tanto, en los últimos años la sociedad ha creado conciencia respecto a la importancia de la sostenibilidad. Por este motivo, a nivel internacional, se han implementado prácticas constructivas sostenibles y se han definido políticas, códigos y guías con estándares de construcción sustentable para gestionar el consumo de recursos energéticos, como se comentan algunos ejemplos en la siguiente sección.

1.1. Consumo y gestión de la energía en la construcción a nivel internacional

En Chile, se han realizado estudios, como es el caso de la tesis de investigación “Estimación de la energía consumida en la construcción de obra gruesa de 3 edificios de altura media en la ciudad de Santiago de Chile”, creada por [6]. Esta pretende cuantificar la energía consumida en la construcción de obra gruesa de un edificio de altura media en la ciudad de Santiago de Chile para, así, aplicar proposiciones en beneficio al mejoramiento de los procesos constructivos y materiales utilizados en la construcción.

Por otra parte, [7] ha creado un documento denominado “Estándares de Construcción Sustentable para Viviendas” en el 2018. Su objetivo es establecer estándares y buenas prácticas de diseño, construcción y operación de las viviendas con el fin de mejorar su desempeño ambiental, económico y social. La Categoría Energía establece estándares de eficiencia energética para el diseño y construcción de viviendas, junto con metas de desempeño energético para la operación de estas, generando el menor impacto ambiental posible.

Asimismo, Perú posee estándares obligatorios y voluntarios que abordan los aspectos de sostenibilidad del entorno construido. Con respecto a la eficiencia energética en la construcción, existen cuarenta y siete estándares voluntarios, Normas Técnicas Peruanas (NTP) y algunas políticas y programas de eficiencia energética relacionadas con la construcción, como se explica en [8].

Según [9], en los últimos cinco años, las emisiones del sector de edificios, a nivel mundial, han tenido un aumento aproximadamente de 9.7 gigatoneladas de dióxido de carbono (GtCO_2) en el 2018, un aumento del 2 % desde el 2017 y un 7 % desde el 2010. Asimismo, los edificios, junto con el sector construcción, representan el 39 % de emisiones globales de CO_2 relacionado con la energía.

Además, en diferentes países, se han creado códigos o estándares de energía de construcción, los cuales son requisitos establecidos por una jurisdicción, estos se enfocan en la reducción de energía utilizada en la construcción. Como lo explica [9], para el 2018, setenta y tres países ya tienen códigos

de energía de construcción. Sin embargo, se debe avanzar hacia códigos obligatorios para edificios, de esta manera, mejorar la gestión del uso de energía y responder a los cambios en la legislación.

Por otra parte, se ha creado, a nivel mundial, la certificación energética de edificios, la cual involucra programas y políticas que evalúan el desempeño de un edificio y sus sistemas de servicio de energía, esta puede ser voluntaria u obligatoria. Su objetivo es proporcionar información a los consumidores sobre sus edificios y crear, gradualmente, un mercado para edificios más eficientes. Según [9], desde el 2018, ochenta y cinco países han adoptado estos programas de certificación.

1.2. Consumo y gestión de la energía en la construcción a nivel nacional

En el caso de Costa Rica, no existen datos o estadísticas para el sector construcción en específico que muestren ninguna cuantificación del consumo energético a través de los años. Sin embargo, se han realizado algunos esfuerzos con respecto a la gestión del consumo de la energía en la construcción. Por ejemplo, se han creado manuales de buenas prácticas, con el fin de atenuar el efecto negativo de las actividades constructivas sobre el medio ambiente, como se puede observar en [10]. Además, a partir del año 2017, el PBAE (Programa Bandera Azul Ecológica) creó la categoría en Construcción Sostenible que entrega reconocimientos a proyectos en su diseño y construcción, que incorporan buenas prácticas económicas, sociales y ambientales.

Por otra parte, existen diversas problemáticas con respecto al tema de sostenibilidad, como las que se mencionan a continuación, según [5]: falta de incorporación de políticas públicas y normativas que incentiven la construcción sostenible, exceso de tramitología y debilidad del Estado monitoreando temas de sostenibilidad, bajo involucramiento del sector financiero a incentivar la construcción sostenible, falta de capacitación de profesionales en el tema de sostenibilidad, entre otros.

Sin embargo, en Costa Rica, se han aplicado certificaciones de edificios sostenibles voluntarias como LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), la norma RESET (Leadership in Energy and Environmental Design) y EDGE (Excellence in Design for Greater Efficiencies). No obstante, no existe ninguna metodología obligatoria para la estimación y registro del consumo de recursos para la gestión eficiente de estos durante el proceso constructivo de proyectos ingenieriles. Tampoco existe, a nivel nacional, una herramienta para la guía de buenas prácticas a seguir durante el proceso constructivo de edificaciones.

Asimismo, se encuentra un vacío en el desarrollo de estadísticas de consumo de recursos (energía) que permitan medir el desempeño relacionado a la sostenibilidad de las construcciones de edificaciones. Por lo tanto, el estudio realizado contribuyó a la investigación de la consciencia ambiental durante la etapa constructiva de edificios a nivel nacional. Además, se creó una metodología (la cual se explicará con detalle en las siguientes secciones) para estimar y registrar el consumo del recurso energético durante la construcción de proyectos verticales, con el fin de generar indicadores de sostenibilidad y estadísticas estándar de sostenibilidad de consumo en los proyectos.

Este artículo presenta un resumen de la metodología a seguir en un proyecto, con el fin de registrar y cuantificar su consumo de electricidad y combustible y calcular los indicadores de sostenibilidad (expresados en kilowatt por hora de electricidad por metro cuadrado de entrepiso colado” (kWh/m²) y “litros de combustible por metro cuadrado de entrepiso colado” (L/m²)), con la ayuda de la herramienta de Excel. Para todos aquellos lectores que deseen conocer el detalle de cómo llevar a cabo los procesos, ver su aplicación en dos proyectos de construcción verticales y observar el análisis profundo y detallado de los resultados obtenidos, se puede consultar en el Trabajo Final de Graduación titulado “Metodología para la gestión de recursos de consumo energético durante el proceso constructivo” elaborado por [11].

2. METODOLOGÍA

La metodología utilizada en el trabajo de investigación se dividió en cuatro etapas. La investigación se basó en una búsqueda de información con el fin de conocer el estado de desarrollo actual de control y gestión eficiente de consumo de recursos energéticos a nivel mundial y nacional en la construcción. Posteriormente, en la segunda etapa, se procuró definir y explicar con claridad paso a paso el procedimiento, a través del cual se generó una herramienta para la recolección, procesamiento, estimación y registro del consumo de recursos de energía en las construcciones, esto con el fin de crear estadísticas estándar que permitan medir el desempeño relacionado a la sostenibilidad de las construcciones durante la etapa de obra gris de desarrollos verticales, específicamente. En la tercera etapa, se procedió a aplicar la metodología de estimación de consumos de recursos de electricidad y combustible en dos proyectos de construcción verticales en Costa Rica con el fin de analizar la gestión del consumo de recursos. Primeramente, se describieron las características generales de los proyectos a evaluar y luego se aplicó la metodología creada a los proyectos con el fin de obtener registros de consumo de electricidad y combustible relacionados con los metros cuadrados de los niveles construidos del edificio y con los metros cúbicos de concreto requeridos para la construcción de cada nivel.

Estos proyectos analizados se trataron de las torres verticales Torre Las Loras (el cual se localiza en Granadilla, Curridabat y posee once niveles y un sótano) y San Pedro Business Center (el cual se encuentra ubicado en San Pedro, Montes de Oca y posee once niveles y dos sótanos). Ambos edificios contienen un sistema constructivo de muros y columnas de concreto reforzado con losas en sistema postensado no adherido. Además, se verificaron las buenas prácticas constructivas sostenibles para la gestión del consumo de energía aplicadas en los proyectos de construcción en estudio. Una vez obtenidos los resultados se realizó un análisis cuantitativo y cualitativo de estos, con el objetivo de comprender el comportamiento de los datos de indicadores estadísticos de consumo.

Seguidamente, como último paso, se efectuó una sesión de validación con un comité de expertos en el tema de sostenibilidad en la construcción, los cuales estaban conformados por profesionales ingenieros civiles, estos poseían entre 5 a 35 años de experiencia en proyectos de construcción y en temas de sostenibilidad y construcción sostenible. A esta población se les aplicó un formulario

o encuesta, con el propósito de obtener recomendaciones correspondientes y una evaluación de los principales parámetros de la metodología propuesta.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Metodología para la gestión del consumo energético

La metodología creada se elaboró en conjunto con el trabajo de investigación denominado “Metodología para el control y análisis del consumo de agua durante la fase constructiva de obra gris”, elaborado por [12].

Con respecto a la realidad nacional, no existe en Costa Rica ninguna metodología obligatoria para la estimación y registro del consumo de recursos para el control y gestión eficiente de estos durante el proceso constructivo de proyectos ingenieriles. Existe un vacío en el desarrollo de estadísticas de consumo de recursos, que permitan medir el desempeño relacionado a la sostenibilidad de las construcciones de edificaciones. Por lo tanto, uno de los objetivos de la creación de esta metodología es generar estadísticas de consumo de recursos en los proyectos de construcción durante la etapa de obra gris para producir estándares y promedios de comparación con otras construcciones. Asimismo, producir indicadores estadísticos de consumo de energía que puedan mostrar el estado de consumo según el avance del proyecto.

Dentro de los aspectos que se consideraron en la medición de indicadores, no se incluyó el consumo de electricidad y combustible en el proceso de fabricación ni producción de materiales para la construcción. El consumo de combustible estimado consideró el generado por el funcionamiento de maquinaria utilizada en campo, el transporte de materiales de construcción y fletes de coladas de concreto. En el caso del consumo de electricidad, se tomaron en cuenta las lecturas obtenidas del medidor. Es decir, se midió el consumo energético en el proceso constructivo de la obra, pero no se tomó en cuenta la energía utilizada en la fabricación de materiales. Además, solamente se incluyeron proyectos de tipo vertical en la fase de construcción de obra gris, no se contemplaron las etapas de diseño, movimiento de tierras, acabados ni operación del edificio. Sin embargo, sí se tomó en cuenta el reconocimiento de actividades de acabados realizadas paralelamente a la construcción de obra gris que puedan aportar un incremento en el consumo.

Lo que se pretendió fue medir la eficiencia de la construcción; es decir, la eficiencia de la cantidad de recurso energético utilizado para producir la cantidad de producto, comparando los insumos requeridos (recursos de energía) contra el producto obtenido a lo largo del proceso (m^2 de nivel construido y m^3 de concreto colado para cada nivel). Para lograr esto, se crearon tres etapas a seguir: 1) definición de requisitos; 2) recolección de datos; y 3) procesamiento de datos.

Primeramente, se definieron las actividades requeridas en el proyecto en las cuales se genera el consumo del recurso. Por ejemplo, la electricidad y el combustible son necesarios para el uso de instalaciones provisionales, la iluminación interna en la construcción, el uso de herramientas

eléctricas, el uso de maquinaria y el transporte de materiales y desechos de la construcción. Además, en algunos casos la grúa torre se encuentra conectada a un generador, consumiendo combustible para su funcionamiento y, en otros, esta se conecta a la corriente eléctrica.

Por lo tanto, se establecieron diferentes fuentes de recolección de consumo, debido a que la manera de recolectar el dato consumido según cada actividad es distinta:

- 1) consumo de electricidad según el medidor: obtenido directamente de la compañía encargada de proporcionar el servicio, en este caso es la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL);
- 2) consumo de combustible por los fletes de materiales: se obtiene del registro de las órdenes de compra de la construcción;
- 3) consumo de combustible según la maquinaria utilizada en campo: medido del registro de consumo de galones de combustible interno en el proyecto;
- 4) consumo de combustible por fletes de coladas de concreto: recolectado del registro con las fechas y volúmenes colados de concreto durante la construcción.

Por lo tanto, al analizar las actividades que ocasionan la utilización de los recursos, se definieron ciertos requisitos con los que debe contar el proyecto de construcción en estudio para la aplicación de la metodología. En el caso del análisis del consumo de energía, es necesario que la construcción cuente con la siguiente información.

Datos de entrada generales:

- 1) área total de construcción del proyecto;
- 1) área de cada nivel del edificio a construir;
- 2) control de las fechas de colado de concreto con cantidades;
- 3) cronograma real general del proyecto;
- 4) programación actualizada del trabajo semanal.

datos de entrada de electricidad:

- 1) datos del medidor de electricidad;
- 2) recibos mensuales de consumo de electricidad;
- 3) lista del equipo menor utilizado en campo.

Datos de entrada de combustible:

- 1) lista de maquinaria utilizada en campo y cantidad de días utilizada por semana o el registro de consumo por maquinaria utilizada en campo;

- 2) control (con fechas) de cantidad de fletes y su lugar de procedencia o proveedores;
- 3) recibos contables de facturación de combustible

La segunda etapa se basa en la recolección de datos, esta se puede realizar de manera semanal o mensual. Además, en las visitas al proyecto, se debe llevar a cabo una inspección de la aplicación de estrategias y actividades para el ahorro de consumo de energía con el fin de crear una guía con medidas sostenibles que se pueden implementar en futuros proyectos.

Finalmente, en la última etapa se creó una herramienta elaborada en Microsoft Excel para el procesamiento de información en la cual se sigue un procedimiento para cada una de las fuentes de consumo. Estos se explican de manera general a continuación.

Procedimiento del modelo de electricidad:

- 1) colocar los consumos por datos del medidor o recibos mensuales y fechas de inicio y final de los niveles;
- 2) calcular los porcentajes de distribución por días para asignar consumos a cada nivel;
- 3) calcular los consumos totales, acumulados y unitarios por nivel.

Procedimiento del modelo de combustible por maquinaria utilizada en campo:

- 1) colocar los consumos mensuales y fechas de inicio y final de niveles;
- 2) calcular los porcentajes de distribución por días para asignar consumos a cada nivel;
- 3) calcular los consumos totales, acumulados y unitarios por nivel.

Procedimiento del modelo de combustible por fletes de materiales realizados:

- 1) colocar el proveedor, distancia recorrida, material transportado, rendimiento del vehículo y cantidad de viajes;
- 2) calcular el consumo de combustible semanal y mensual;
- 3) calcular los porcentajes de distribución por días para asignar consumos a cada nivel;
- 4) calcular los consumos totales, acumulados y unitarios por nivel.

Procedimiento del modelo de combustible por fletes de coladas de concreto:

- 1) colocar las fechas de coladas, nivel del elemento que se coló, cantidad de m³ de concreto colado, resistencia y si su colocación es bombeado o directa;
- 2) colocar el rendimiento del mixer y bomba y la distancia recorrida desde el proveedor hasta la construcción;

- 3) calcular la cantidad de viajes de mixer y bomba y el consumo de combustible total, acumulado y unitario.

Como resultado se obtuvieron indicadores de consumo de electricidad y combustible para cada uno de los niveles del edificio expresados de la forma: “kilo watt por hora de electricidad por metro cuadrado de entrepiso colado” (kWh/m^2), “litros de combustible por metro cuadrado de entrepiso colado” (L/m^2) para todos los niveles de un edificio, “kilo watt por hora de electricidad por metro cúbico de concreto colado por nivel” (kWh/m^3) y “litros de combustible por metro cúbico de concreto colado por nivel” (L/m^3). Esto se muestra gráficamente en la siguiente Fig. 1.



Fig. 1. Representación gráfica de los indicadores de sostenibilidad para cada nivel de edificio Torre Las Loras.

3.2. Aplicación de la metodología en dos construcciones de desarrollos verticales en Costa Rica

La metodología creada se aplicó durante la construcción de obra gris de dos proyectos realizados por la empresa Eliseo Vargas Constructora (EVCO), denominados Torre Las Loras (TLL) y San Pedro Business Center (SPBC). Ambos proyectos se tratan de desarrollos verticales ubicados dentro de la Gran Área Metropolitana; el sistema constructivo de los dos proyectos se conforma de muros y columnas de concreto reforzado con losas en sistema postensado no adherido.

Asimismo, TLL es un edificio ubicado 200 m sur de McDonald's de Plaza del Sol, en Curridabat. Este tiene un área de $13,765 \text{ m}^2$ y posee once niveles y un sótano de uso mixto para albergar: 1) estacionamientos; 2) comercio; 3) oficinas; y 4) apartamentos. El recurso de electricidad es necesario para el uso de instalaciones provisionales, la iluminación interna en la construcción y el uso de maquinaria y equipo en campo; en el caso de Torre Las Loras, se utilizaron herramientas eléctricas como: sierras circulares, taladros eléctricos, taladros de batería, rompedoras eléctricas, pulidora Hilti, esmeriladoras, rotomartillo y una máquina de soldar. Además, en el proyecto, la grúa torre se conectaba a un generador, consumiendo combustible para su funcionamiento, esta no se conectó a la corriente eléctrica.

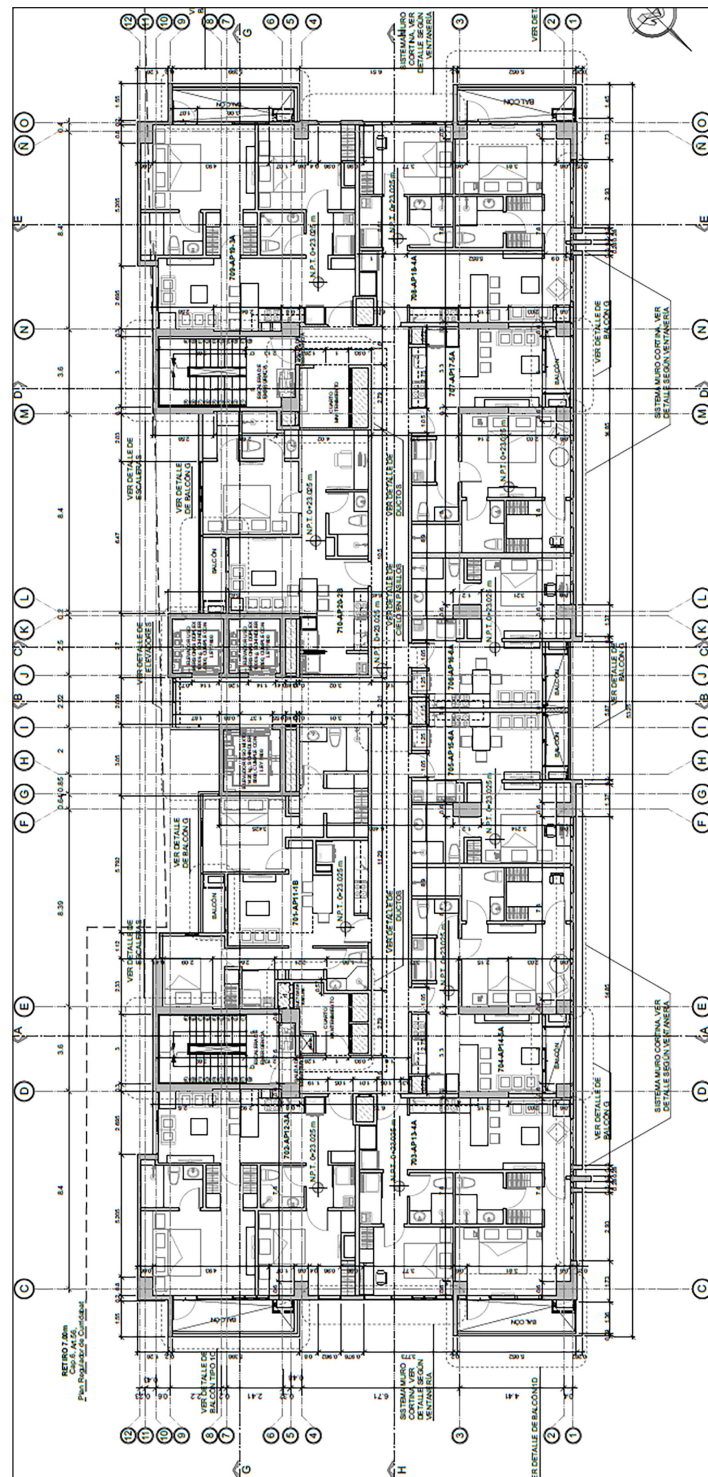


Fig 2. Planta arquitectónica del nivel 7, 8, 9, 10 y 11 (apartamentos) del edificio TLL.

Algunas de las buenas prácticas para lograr un ahorro en el consumo de energía, aplicadas en el proyecto, son las que se enlistan a continuación:

- 1) revisión mensual de temporeras;
- 2) empleo de reflectores de bajo consumo y de fluorescentes;
- 3) revisión de grúa torre y generador;
- 4) buen estado de maquinaria externa;
- 5) iluminación y ventilación natural en bodegas y oficinas.

Por otra parte, SPBC se encuentra en San Pedro, Montes de Oca, contiguo al Banco Nacional, tiene un área de 30,088 m² y posee once niveles y dos sótanos, el cual se distribuye en tres zonas de uso: 1) parqueo; 3) comercial; y 4) oficinas. En el caso de San Pedro Business Center (SPBC), se utilizaron herramientas eléctricas como: esmeriladoras, sierras patín, rotomartillos, rompedoras, taladros eléctricos y taladros de batería. Además, con respecto a la utilización de la grúa torre, esta funcionaba con combustible los primeros cuatro meses de construcción y posteriormente se energizó en el mes de mayo.

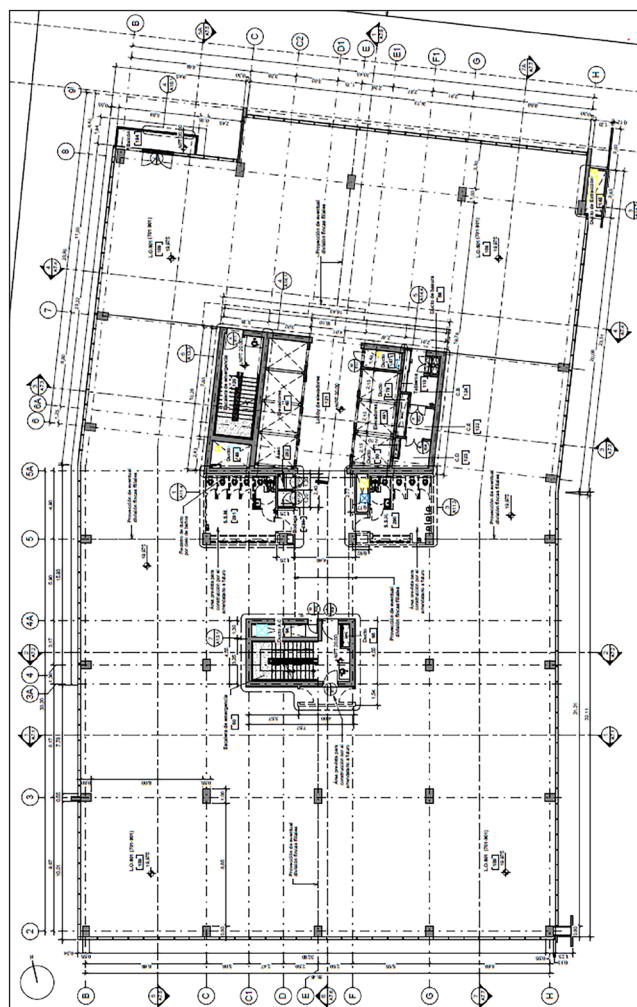


Fig 3. Planta Arquitectónica niveles 6, 7 y 9 del edificio SPBC.

Algunas de las medidas para la utilización eficiente de los recursos aplicadas en el proyecto son las siguientes:

- 1) coladas nocturnas para el ahorro de combustible;
- 2) compra de fotoceldas;
- 3) energizar eléctricamente la grúa;
- 4) mantenimiento de equipo de EVCO y proveedores;
- 5) capacitaciones a personal de campo.

Además, algunos de los resultados con respecto a los consumos generados de energía se presentan a continuación en los siguientes gráficos, donde: 1) “C” significa cimentación; 2) “S1” sótano 1; 3) “PF” placa de fundación; y 4) “N1” nivel 1.

En la Fig. 4 se encuentra el gráfico de consumo total de electricidad por nivel en TLL en el cual se puede notar que existe una relación directa entre la cantidad de consumo con la duración de días de cada nivel. Por ejemplo, el “S1” posee un consumo muy bajo (678 kWh), comparándolo con el resto de los niveles, y se puede notar en el Cuadro I con las fechas de inicio y fin del “S1”, este posee una duración de nueve días; mientras que la cimentación con un consumo de 1902 kWh posee una duración de cuarenta días.

En algunos casos, el área tiene relación con la cantidad de consumo. Sin embargo, hay casos en los que influye más el número de días que dura la construcción del nivel; por ejemplo, los niveles 7, 8, 9 y 10 poseen un área de 861 m² cada uno, pero tienen una duración de 18, 20 12 y 11 días, respectivamente. Por este motivo, el consumo del N8 es el mayor y el N10 el menor entre ellos, debido a que el nivel 8 demora más días en su construcción, por ende, el consumo es mayor por el procedimiento utilizado en la metodología, el cual basa los porcentajes de asignación de consumos por nivel con los días que tardan estos en su construcción.

Además, durante una semana del mes de julio se mantuvo cerrada la construcción, debido a las medidas sanitarias implementadas por el Gobierno en la pandemia del COVID-19 a nivel nacional. Esta situación se debe tomar en cuenta en el análisis o también se puede ajustar la metodología, reconociendo los días justificables e identificables en los cuales ocurrió una situación o evento en particular (“días de paro”) que no se trabajó o que estuvo cerrada la construcción. Por lo tanto, se puede tener un tiempo bruto de duración de la construcción de un nivel y un tiempo neto, donde se pueden descontar los días no trabajados y, de esta manera, con este, calcular los porcentajes de distribución para la asignación de consumos.

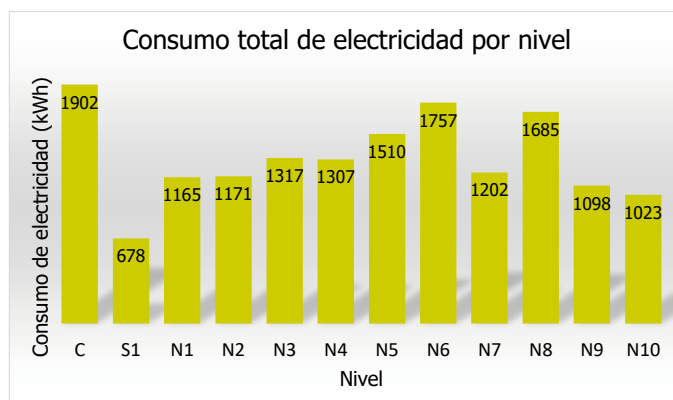


Fig. 4. Consumo total de electricidad por nivel de TLL.

En la siguiente Fig. 5, se muestra el consumo total de combustible para cada uno de los niveles del edificio. La “C” presenta un mayor gasto, debido a que se inició su construcción y simultáneamente se encontraban finalizando algunos trabajos del movimiento de tierras en los cuales se pudo haber utilizado maquinaria que consumiera combustible.

En los últimos niveles, se puede notar que bajó el consumo con respecto a los primeros meses, debido a que, a partir del nivel 7, el área de cada nivel disminuye a 861 m². Sin embargo, aunque los niveles 7, 8, 9, 10 y 11 poseen la misma área, hay niveles, como el N8 y N11, que tuvieron una mayor duración en su construcción y, por ende, un mayor consumo, debido al procedimiento en que se basa la metodología utilizada.

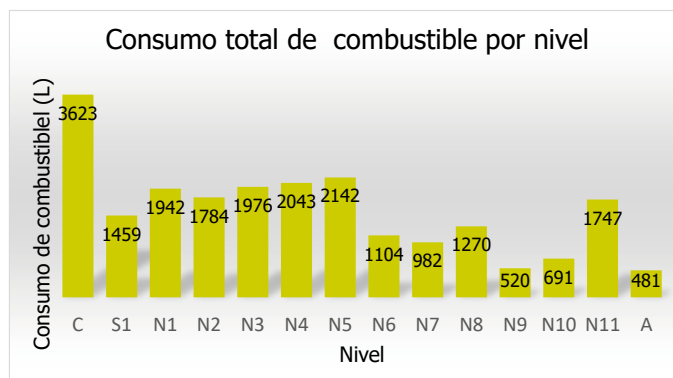


Fig. 5. Consumo total de combustible por nivel de TLL.

En la Fig. 6, se muestra el gráfico de consumo total de electricidad por nivel para SPBC. Se puede apreciar que los niveles que inician a partir del mes de junio (del N2.5 en adelante) aumentan notoriamente el consumo, debido a que en el mes de mayo se realizó la instalación de la alimentación trifásica por parte de los trabajadores del CNFL. Además, al inicio de la construcción, la grúa torre funcionaba con combustible y, posteriormente, en el mes de mayo esta se energizó, por lo que también es una de las razones por las cuales aumentó el consumo por recibo mensual de electricidad, ya que los consumos de electricidad de las grúas torre rondan entre los 1500 y 1800 kWh por mes.

Por otra parte, se puede observar que el nivel dos es el que posee un menor consumo entre

los niveles que se encuentran en los meses desde febrero hasta mayo, ya que tiene la menor área y también un tiempo de construcción menor. Asimismo, los niveles desde el N4 hasta el N8 poseen la misma área cada uno y no resultaron tener los mismos consumos. Esto se debe a que existe una relación directa entre la cantidad de consumo con la duración de días en la construcción de cada nivel. Hay casos en los que influye más el tiempo de construcción del nivel; por ejemplo, el N8 y N6 poseen los mayores consumos, a pesar de tener la misma área que el N4, N5 y N7.

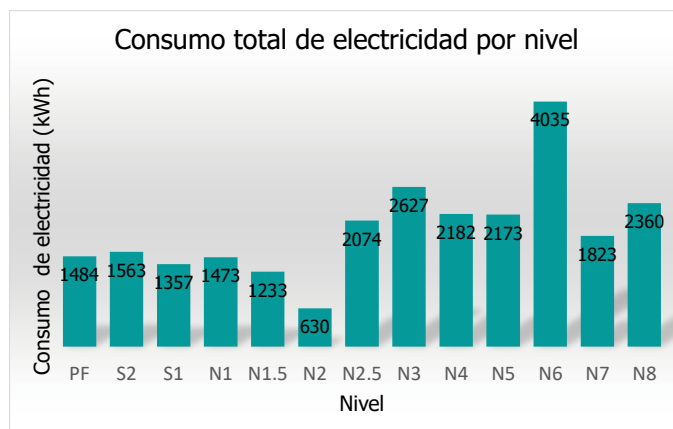


Fig. 6. Consumo total de electricidad por nivel de SPBC.

Se puede notar, en la siguiente Fig. 7, el consumo total de combustible para cada uno de los niveles del edificio de SPBC, donde la placa de fundación posee un mayor consumo de combustible, debido a que durante su construcción también se encontraban realizando los últimos trabajos para el movimiento de tierra y utilizando combustible para el funcionamiento de maquinaria como el backhoe. Además, durante la construcción de la placa de fundación se realizan más viajes para el transporte de materiales, debido a los equipos de alquiler como la formaleta.

También, para la placa de fundación, se requirió más del triple de m^3 de concreto colado en comparación con la cantidad colada en los demás niveles, lo cual generó mayor cantidad de fletes de concreto y, por ende, mayor consumo de combustible.

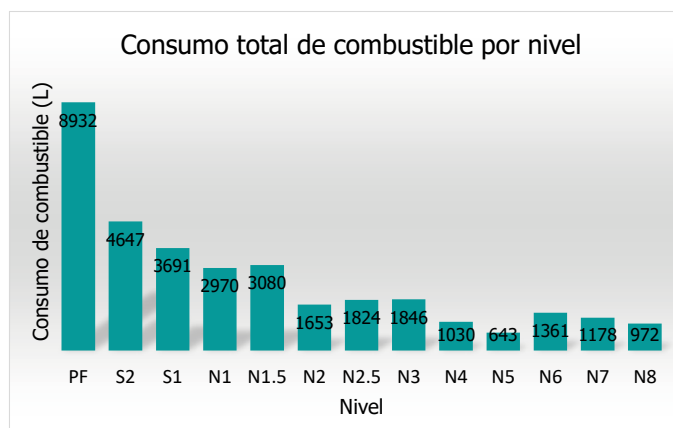


Fig. 7. Consumo total de combustible por nivel de SPBC.

Otro aspecto importante es que los últimos niveles poseen un área menor comparada con los primeros, por este motivo, el tiempo en días de construcción de los niveles va disminuyendo, lo que provoca que los porcentajes de la asignación de consumos disminuya en los últimos niveles. Asimismo, para la construcción de los primeros niveles se utilizó combustible para el funcionamiento de la grúa torre por lo que estos poseen un mayor consumo en comparación con los últimos niveles (del N2.5 en adelante).

Observando la Fig. 8, el consumo acumulado total de electricidad en kWh, entre ambos proyectos durante el porcentaje de avance de obra gris, SPBC posee un mayor consumo durante todo el proceso y, en la segunda mitad del avance, es notorio el incremento en la cantidad de consumo, esto debido a la energización de la grúa torre.

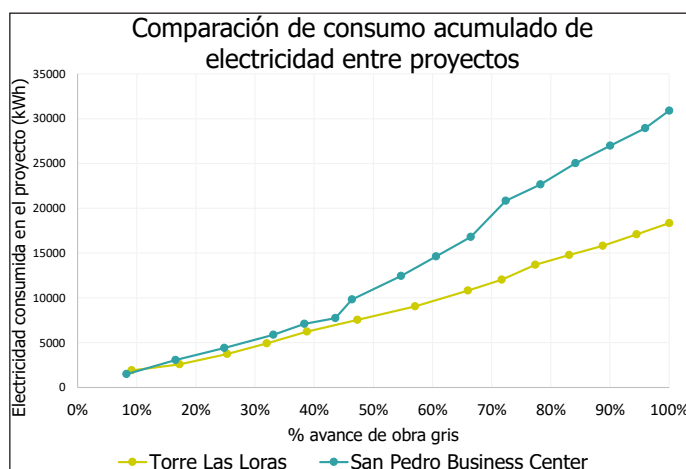


Fig. 8. Comparación de consumo total de electricidad entre TLL y SPBC según el avance de obra gris.

A continuación, se muestra la comparación del consumo de combustible total en litros contra el porcentaje de avance de obra gris en el cual se pueden observar mayores consumos en el proyecto SPBC, debido a que los consumos de maquinaria utilizada en campo y de los fletes de concreto del proyecto SPBC son mayores que los de TLL. Además, el proyecto TLL corresponde un edificio con un área de 13 765 m², mientras que SPBC posee un área 30 088 m²; por esta razón, este presenta un mayor consumo total, tanto en electricidad como en combustible, a lo largo del avance de la obra. Asimismo, los m³ de concreto colado en SPBC es, significativamente, mayor que la cantidad colada de TLL, lo que produce una mayor cantidad de fletes de concreto y, por ende, mayor consumo de combustible en SPBC.

También, se obtuvieron resultados de consumo unitario de electricidad y combustible por metro cuadrado de área construida y por metro cúbico de concreto colado a través del porcentaje de avance de la obra gris, los cuales se muestran en las siguientes Fig. 10, 11, 12 y 13. Estos gráficos muestran que, a pesar de que cada proyecto es distinto, con los consumos unitarios se puede llevar a cabo una comparación entre proyectos.

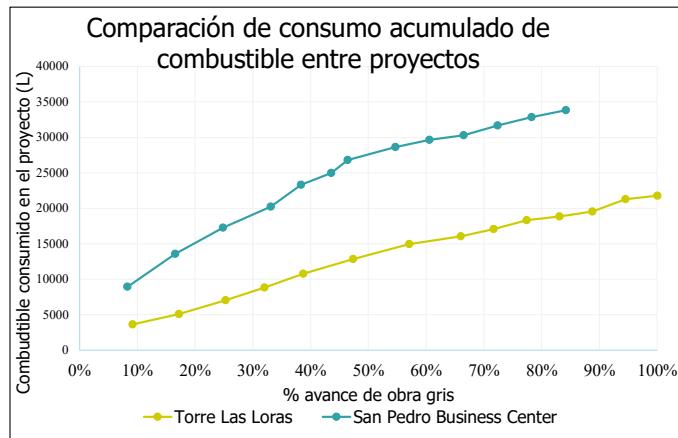


Fig. 9. Comparación de consumo total de combustible entre TLL y SPBC según el avance de obra gris.

Estos gráficos son de gran utilidad para observar los consumos que demandan diversos tipos de proyectos y analizar cuáles metodologías constructivas emplean una mayor cantidad de recursos. Además, es de gran importancia darles seguimiento a los proyectos, comparándolos con estándares y promedios, con el fin de implementar medidas correctivas sostenibles para mejorar las curvas de consumo.

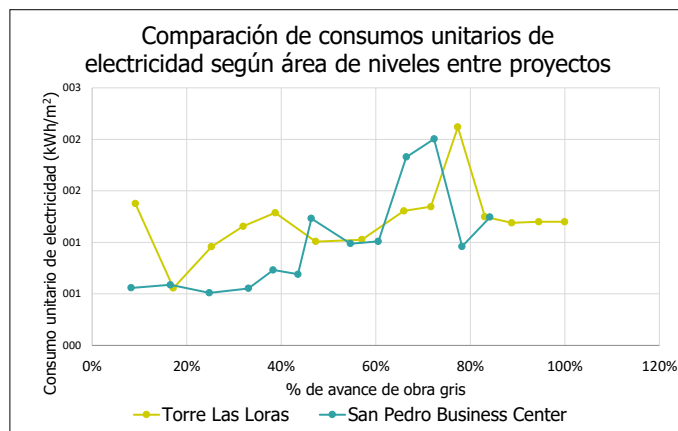


Fig. 10. Gráfico comparativo de los consumos unitarios de electricidad según área de niveles entre TLL y SPBC.

En la Fig. 11 es importante notar, en el caso de TLL, que, aunque los niveles N7, N8, N9 y N10 (los cuales poseen un porcentaje de avance de obra gris del 72 % al 90 %) poseen la misma área, el consumo por m^3 de concreto colado por cada nivel varía; esta diferencia se debe a que se considera el factor de la altura de los elementos que componen el diseño de cada nivel. Por lo tanto, se recomienda realizar el análisis de consumos también, tomando en cuenta los m^3 de concreto colado. Entre mayor consumo de electricidad y menor cantidad en m^3 de concreto colado por nivel, mayor consumo de electricidad por m^3 de concreto colado.

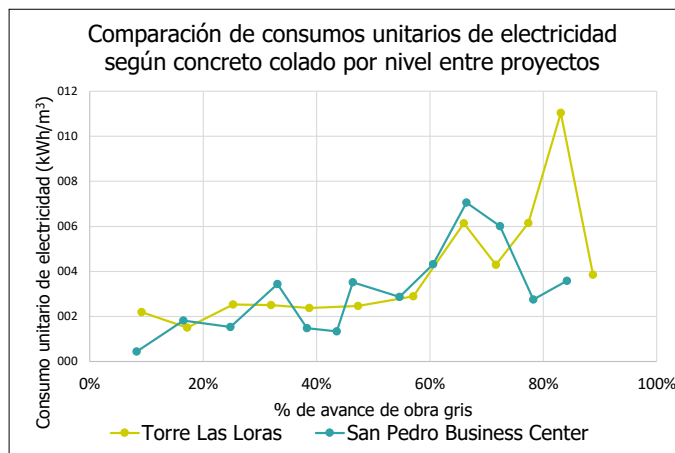


Fig. 11. Gráfico comparativo de los consumos unitarios de electricidad según cantidad de concreto por nivel entre TLL y SPBC.

En la siguiente Fig. 12, en el caso de TLL, el consumo unitario mayor se obtiene al inicio del proyecto al construir la cimentación, entre mayor consumo total y menor área por nivel mayor consumo unitario; aunque la cimentación posea el área más grande de construcción, esta posee el mayor consumo de combustible de todos los niveles. Este dato se puede comparar con otros proyectos, debido a que representa el consumo por metros cuadrado de construcción. Además, se puede notar que SPBC posee un alto consumo unitario de combustible al inicio, mayor que TLL, debido a que utilizaban combustible para alimentar la grúa torre. Posteriormente, el consumo unitario de combustible de SPBC disminuyó, consumiendo menos que TLL, al energizar la grúa la torre.

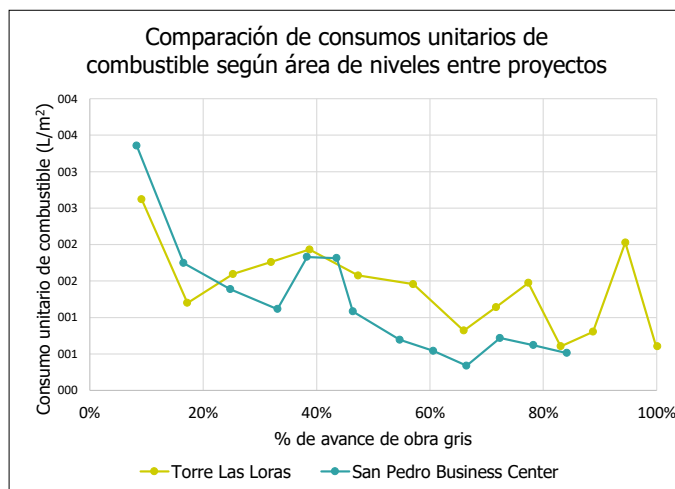


Fig. 12. Comparación de consumos unitarios de combustible según área de niveles entre TLL y SPBC.

Al analizar el comportamiento por volumen de concreto, es importante recordar que los m³ de concreto colado toman en cuenta la altura de los niveles. En el caso de SPBC, el Nivel 1 (el cual fue construido a un 33 % de avance) posee la misma área que la PF, S1, S2 y N3, pero se le asignó un alto consumo de combustible y requirió una baja cantidad de m³ de concreto colado para su

construcción; por lo tanto, el N1 es el que posee un mayor consumo por m^3 de concreto colado, como se muestra en la Fig. 13.

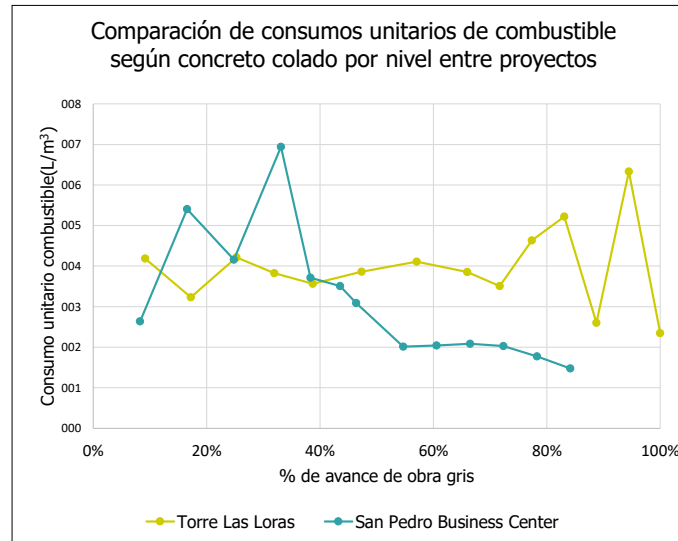


Fig. 13. Comparación de consumos unitarios de combustible según cantidad de concreto por nivel entre TLL y SPBC.

Además, en los siguientes dos gráficos (Fig. 14 y Fig. 15), se muestran los promedios de consumo unitario según el área de cada nivel para cada proyecto, tanto para el recurso de combustible como para el de electricidad. Con esto, es posible crear un análisis general y global de los consumos para comparar diversos proyectos entre con las mismas metodologías constructivas. Es interesante notar que, aunque TLL posee una menor área que SPBC, este posee mayores consumos unitarios tanto de electricidad como de combustible. En el caso del combustible, la energización de la grúa torre ayudó en gran medida al proyecto SPBC para obtener un ahorro en el consumo de combustible.

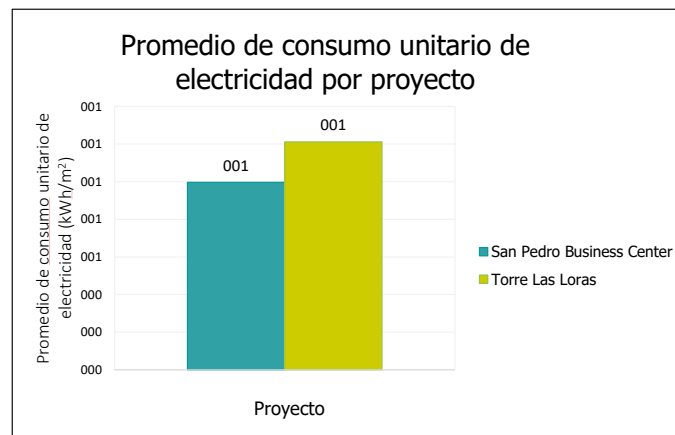


Fig. 14. Gráfico comparativo de los promedios de consumo unitario de electricidad según área de niveles entre TLL y SPBC.

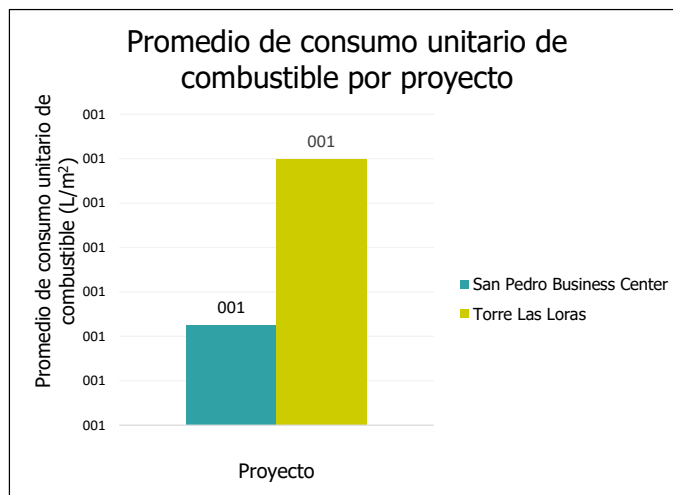


Fig. 15. Gráfico comparativo de los promedios de consumo unitario de combustible según área de niveles entre TLL y SPBC.

Además, se logró obtener un dato importante en la Fig. 16, unificando el consumo de las dos unidades (L y kWh) en una sola; es decir, en lugar de emplear dos indicadores, se sumó todo el consumo en una unidad de energía (kWh) por m² de edificación. Esto se logró utilizando de referencia a [13] con el propósito de convertir las unidades de L a kWh. Es relevante conocer que los datos también se pueden visualizar de forma global como energía total consumida en el proyecto por los m² construidos, según el avance de obra gris en la construcción.

Los consumos unitarios de energía en kWh por la utilización de combustible, es de cinco hasta treinta y ocho veces más que el consumo unitario de electricidad. Por lo tanto, la tendencia en el gráfico de la Fig. 14 conserva la tendencia que se observa en el gráfico de la Fig. 10, donde se muestra la comparación de consumos unitarios de combustible según área de niveles.

Por lo tanto, se nota que el consumo energético es mayor en el uso de combustible en este tipo de proyectos; el consumo de combustible es muy importante en esta metodología ya que se toma en cuenta no solo la maquinaria utilizada en campo, sino también el transporte de todos los materiales según las órdenes de compra del proyecto. Consecuentemente, se nota la preponderancia del combustible en el consumo de energía. Como se mencionó, en los primeros meses, SPBC utilizó combustible para alimentar la grúa torre y luego la energizaron; en cambio, en TLL siempre se mantuvo la grúa conectada a un generador, por este motivo, se puede notar que la tendencia en el gráfico que SPBC disminuyó su consumo de energía conforme avanzaba el proyecto, lo cual puede resultar una buena práctica de ahorro de consumo energético conectar la grúa torre a la electricidad del proyecto.

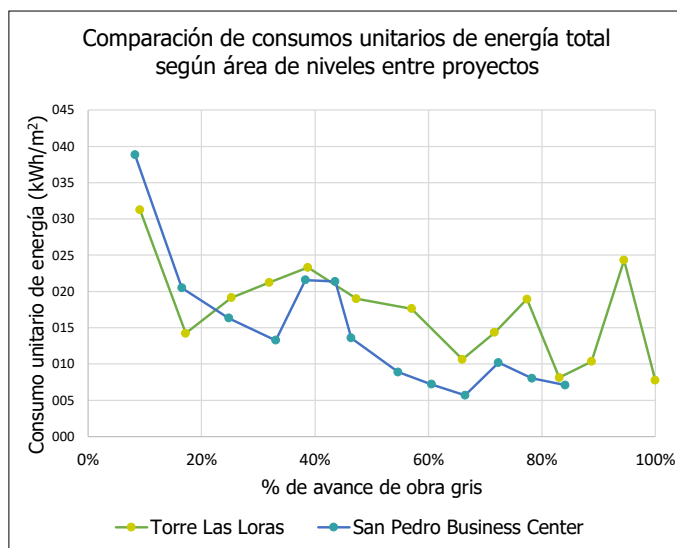


Fig. 16. Gráfico comparativo del consumo unitario total de energía entre proyectos.

Adicionalmente, como parte de un análisis estadístico, se procedió a elaborar un gráfico (Fig. 17) comparativo entre los dos proyectos de frecuencias de consumo unitario de energía por m² construido. Por lo tanto, se consiguió observar cuáles rangos de consumo unitarios de energía total (sumando electricidad y combustible) en kWh/m² se repiten más en ambos edificios. En el caso de SPBC, el rango que más se repite es entre 5 y 10 kWh/m², y, en TLL, son de 10 a 15 y de 15 a 20 KWh/m², por lo que se podría decir que SPBC posee una mayor eficiencia en términos de consumo energético contra el avance de construcción de obra gris. Sin embargo, en un nivel construido en SPBC, se presentó un consumo unitario mayor a 35 kWh/m², este se dio en la construcción de la placa de fundación, la cual coincidió con algunos trabajos de movimiento de tierras y con los fletes de alquiler de equipos como formaletas, lo cual generó un mayor consumo de energía por el uso de combustible. Además, como se ha mencionado anteriormente, al inicio del proyecto SPBC, se utilizaba un generador para la utilización de la grúa torre y, en un proyecto de construcción, esta implica una gran cantidad de consumo.

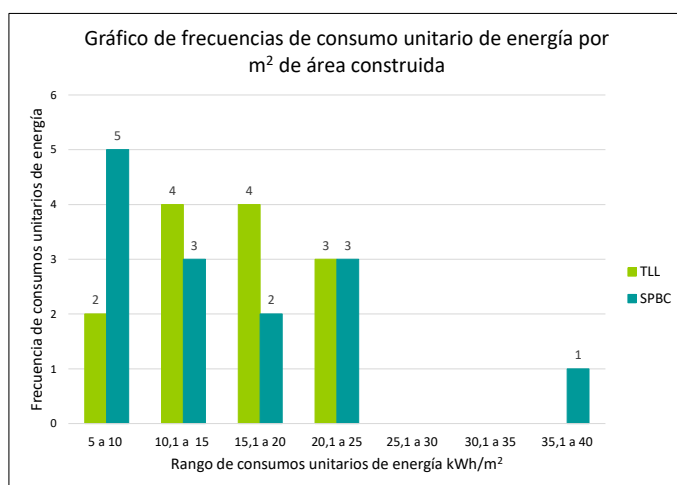


Fig. 17. Gráfico comparativo de frecuencias del consumo unitario total de energía según área de niveles entre proyectos.

CUADRO I

RESUMEN DE DATOS Y RESULTADOS DE CONSUMOS POR NIVEL Y UNITARIOS OBTENIDOS DEL PROYECTO TORRE LAS LORAS

Nivel	Área (m ²)	Volumen de concreto (m ³)	Días fabricación entepiso	Electricidad consumida nivel (kWh)	Electricidad unitario área (kWh/m ²)	Electricidad unitario concreto (kWh/m ³)	Combustible consumido nivel (L)	Combustible unitario área (L/m ²)	Combustible unitario concreto (L/m ³)
C	1383	865	40	1902	1,37	2,20	3623	2,62	4,19
S1	1217	452	9	678	0,56	1,50	1459	1,20	3,23
N1	1217	461	17	1165	0,96	2,53	1942	1,60	4,22
N2	1013	467	17	1171	1,16	2,51	1784	1,76	3,82
N3	1023	554	19	1317	1,29	2,38	1976	1,93	3,57
N4	1296	529	17	1307	1,01	2,47	2043	1,58	3,86
N5	1471	521	19	1510	1,03	2,90	2142	1,46	4,11
N6	1347	287	20	1757	1,30	6,13	1104	0,82	3,85
N7	861	280	18	1202	1,40	4,29	982	1,14	3,51
N8	861	274	20	1685	1,96	6,15	1270	1,48	4,64
N9	861	100	12	1098	1,28	11,03	520	0,60	5,22
N10	861	266	11	1023	1,19	3,85	691	0,80	2,60
N11	861	276	18				1747	2,03	6,33
A	835	205	1				481	0,58	2,35

CUADRO II

RESUMEN DE DATOS Y RESULTADOS DE CONSUMOS POR NIVEL Y UNITARIOS OBTENIDOS DEL PROYECTO SAN PEDRO BUSINESS CENTER

Nivel	Área (m ²)	Volumen de concreto (m ³)	Días fabricación entepiso	Electricidad consumida nivel (kWh)	Electricidad unitario área (kWh/m ²)	Electricidad unitario concreto (kWh/m ³)	Combustible consumido nivel (L)	Combustible unitario área (L/m ²)	Combustible unitario concreto (L/m ³)
PF	2662	3386	36	1484,2	0,56	0,44	8932	3,36	2,64
S2	2662	860	41	1562,8	0,59	1,82	4647	1,75	5,40
S1	2662	888	37	1357,0	0,51	1,53	3691	1,39	4,16
N1	2662	428	38	1473,2	0,55	3,44	2970	1,12	6,94
N1.5	1684	830	33	1232,8	0,73	1,49	3080	1,83	3,71
N2	912	472	18	630,0	0,69	1,34	1653	1,81	3,51
N2.5	1684	591	29	2073,7	1,23	3,51	1824	1,08	3,09
N3	2662	917	28	2626,9	0,99	2,87	1846	0,69	2,01
N4	1897	505	17	2181,5	1,15	4,32	1030	0,54	2,04
N5	1897	308	13	2172,9	1,15	7,05	643	0,34	2,09
N6	1897	672	29	4034,7	2,13	6,01	1361	0,72	2,03
N7	1897	664	14	1823,0	0,96	2,75	1178	0,62	1,78
N8	1897	658	15	2360,3	1,24	3,59	972	0,51	1,48

3.3. Validación de la metodología

Como último paso, se procedió a presentar los resultados obtenidos y la propuesta elaborada a un comité conformado por diecisiete profesionales ingenieros civiles, estos poseían entre 5 a 35 años de experiencia en proyectos de construcción y en temas de sostenibilidad y construcción sostenible. En esta presentación virtual, se aplicó un cuestionario como instrumento de evaluación en el cual se pretendió conocer la opinión de los expertos acerca de la metodología. Este formulario presenta una serie de afirmaciones en las cuales indicaron qué tan de acuerdo se encontraban del 1 al 5.

A continuación, se muestran los resultados del cuestionario en el gráfico de la Fig 18, en este, se presenta la cantidad de expertos que estaban completamente de acuerdo, con el número 5 (de color celeste), los que estaban parcialmente de acuerdo, con los números 2, 3 y 4 (de color rojo, verde y morado, respectivamente) y los que se encontraban completamente en desacuerdo, con el número 1 (de color azul). Además, se muestra el promedio de aceptación para cada parámetro de validación.

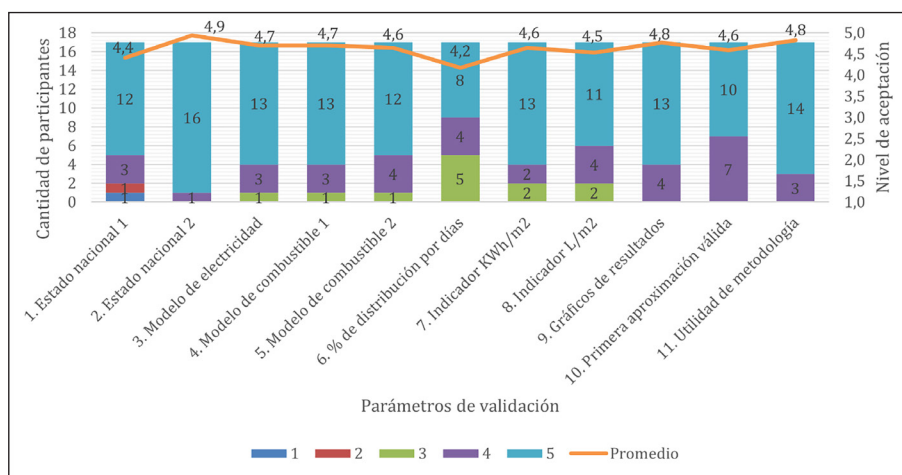


Fig 18. Resultados del formulario aplicado en la validación con el grupo de expertos.

Al aplicar el cuestionario, la mayoría de los participantes estuvieron de acuerdo con las siguientes afirmaciones:

- 1) Existe un vacío en el desarrollo de estadísticas de consumo de recursos (energía) que permitan medir el desempeño relacionado a la sostenibilidad de las construcciones de edificaciones.
- 2) Es necesaria la existencia de un método para estimar y registrar los datos de consumos de recursos (energía) en una edificación durante su construcción.
- 3) Los modelos creados para calcular en un proyecto el consumo de electricidad y combustible son considerados válidos, como una primera aproximación que genera estadísticas útiles para la sostenibilidad de las construcciones.
- 4) Es considerada válida la metodología de estimación y registro de consumo de combustible por fletes de materiales, desde el origen del proveedor hasta el destino del proyecto,

considerando una estimación del kilometraje asociado a transportar las órdenes de compra de la construcción.

- 5) Es válido definir que el tiempo para fabricar un entrepiso iniciaba una vez que se empezaban a colar las columnas y muros que lo soportarán y finalizaba cuando se daba la colada de este. Además, que los consumos de energía, asociados a la construcción del entrepiso, se asignaron tomando los consumos de los días de cada mes que fueron necesarios para la construcción del entrepiso.
- 6) Es valioso contar con estadísticas del consumo de energía, expresadas en la forma de: kWh/m² y L/m², respectivamente, para todos los niveles del edificio.
- 7) El tipo de gráficos presentados resultan ser una buena manera de mostrar las estadísticas de consumo de los recursos, los cuales miden la sostenibilidad de la edificación.
- 8) La metodología propuesta en esta investigación representa una primera aproximación razonable y válida para la generación y registro de estadísticas de sostenibilidad a lo largo del desempeño en el proyecto.
- 9) Los resultados de la metodología sirven para comparar estadísticas estándar de sostenibilidad de proyectos de construcción con la de proyectos pasados, con el fin de poder tomar decisiones de consumo durante la etapa de construcción.

4. CONCLUSIONES

- 1) El sector de la construcción es responsable de un porcentaje muy elevado del consumo energético, de la utilización de los recursos naturales disponibles y de la generación de impactos ambientales. Por lo tanto, debe haber un esfuerzo por aplicar medidas para minimizar lo máximo posible esta problemática y tomar en cuenta la importancia del principio de “lo que no se mide no se mejora”.
- 2) Con respecto a la recolección de datos, cuando es semanal se obtienen más datos que pueden dar un comportamiento del consumo durante el mes más específico, pero requiere más tiempo y una mayor carga para el ingeniero. Por otro lado, si es mensual se requiere menos tiempo, pero no se sabe bien cómo se ha repartido el consumo durante el mes y costará relacionarlo más con las actividades.
- 3) El cálculo para el consumo de electricidad y combustible por m² de construcción es más sencillo, debido a que no se requiere calcular el volumen de concreto requerido para cada nivel. Sin embargo, la ventaja de calcular el consumo por m³ de concreto colado es que toma en cuenta la altura de los elementos verticales, lo cual sería la cuantificación deseada para la comparación de distintos métodos constructivos y diferentes tipos de proyectos.
- 4) Esta metodología puede ser aplicada a varios tipos de proyectos con diferentes métodos

constructivos, lo cual brindaría resultados interesantes de observar y analizar, con el fin de comparar cuál es el método que genera mayor consumo de recursos. Sin embargo, se debe modificar la consideración de las actividades que generan dicho gasto en cada tipo de tecnología constructiva utilizada.

- 5) La metodología creada se puede adaptar para su aplicación en las demás etapas de la construcción no contempladas en el alcance del estudio, como el movimiento de tierras y acabados. Sin embargo, para extrapolar la metodología a obra terminada, se debe modificar la consideración de las actividades que generan consumo de recursos en cada etapa del edificio.
- 6) Además, el presente análisis fomenta el seguimiento de la investigación, aplicando la metodología creada en más construcciones y aportando, así, a la eficiencia energética de los procesos constructivos y al control del impacto generado al medio ambiente. Asimismo, es importante impulsar un cambio en la manera en que los profesionales, desarrolladores y propietarios llevan a cabo los procesos constructivos en los proyectos, mejorando las prácticas constructivas y concibiendo como una de las prioridades minimizar los impactos al medio ambiente.
- 7) Dependiendo de la precisión y el nivel de detalle que se quiera obtener en los datos, se podría sustituir la medición con el medidor de la compañía eléctrica por medidores de consumo sectorizados, por equipo o zona con lectura continua. Sin embargo, haciendo un análisis costo/ beneficio, no valdría la pena realizar la inversión si es solamente para llevar un control de consumo en los proyectos dentro de la empresa. Por otra parte, sí sería valioso considerar la inversión de medidores sectorizados, si lo que se pretende es crear límites estándar de consumo para un código o una norma a nivel nacional con apoyo del Estado o de diversas organizaciones.

5. ROLES DE PARTICIPACIÓN DE LOS AUTORES

Mariana Solís-Acuña: Conceptualización, Curación de datos, Análisis formal, Investigación, Metodología, Administración del proyecto, Visualización, Recursos, Redacción – borrador original, Redacción – revisión y edición.

Erick Mata-Abdelnour: Conceptualización, Curación de datos, Metodología, Supervisión, Validación, Redacción – revisión y edición.

REFERENCIAS

- [1] Asamblea General de las Naciones Unidas, “Desarrollo sostenible,” presentado en *Asamblea General de las Naciones Unidas*, Oficina del presidente de la Asamblea General, sin fecha, [en línea]. Available: www.un.org.

- [2] A. Ramírez. “La construcción sostenible”. Cofis.es. https://www.cofis.es/pdf/fys/fys13/fys13_30-33.pdf (accesado en mayo 20, 2020).
- [3] O. López, R. V. Lozano y A. Verdu, *Investigación sobre la construcción sostenible y su normalización*. Madrid: Primera: Fundación General de la UPM, 2016.
- [4] C. Castro, “Sistemas de evaluación para edificaciones sostenibles”, presentado en *Curso de Construcción Sostenible de la Universidad de Costa Rica*, San José, Costa Rica, septiembre 13, 2019.
- [5] CFIA, “Construcción Sostenible”, *Revista CFIA*, no. 264, pp. 68-71, 2016. <https://revista.cfia.or.cr/wp-content/uploads/2018/03/264-1.pdf>.
- [6] F. A. Carmona. “Estimación de la Energía Consumida en la Construcción de Obra Gruesa de 3 Edificios de Altura Media en la Ciudad de Santiago de Chile”. repositorio.uchile.cl. <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/103813> (accesado en junio 13, 2020).
- [7] Minvu. “Estándares de Construcción Sustentable para Viviendas de Chile, Tomo II: Energía”. csustentable.minvu.gob.cl. <https://csustentable.minvu.gob.cl/wp-content/uploads/2018/03/EST%C3%81NDARES-DE-CONSTRUCCI%C3%93N-SUSTENTABLE-PARA-VIVIENDAS-DE-CHILE-TOMO-II-ENERGIA.pdf> (accesado en mayo 27, 2020).
- [8] USAID. “APEC Building Codes, Regulations and Standards: Minimum, Mandatory and Green”. apec.org. <https://www.apec.org/Publications/2013/08/APEC-Building-Codes-Regulations-and-Standards-Minimum-Mandatory-and-Green> (accesado en junio 16, 2020).
- [9] GlobalABC, IEA & UN Environment Programme. “2019 Global Status Report for Buildings and Construction”. Unenvironment.org. <https://www.unenvironment.org/resources/publication/2019-global-status-report-buildings-and-construction-sector> (accesado en junio 26, 2020).
- [10] CCC. “Guía de la Construcción Sostenible”. Construcccion.co.cr. <https://www.construccion.co.cr/Multimedia/Archivo/324> (accesado en mayo 1, 2020).
- [11] M. Solís, “Metodología para la gestión de recursos de consumo energético durante el proceso constructivo”, B.S. thesis, Dept. Civil. Eng., Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica, 2021.
- [12] J. P. Castillo, “Metodología para el control y análisis del consumo de agua durante la fase constructiva de obra gris”, B.S. thesis, Dept. Civil. Eng., Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica, 2021.
- [13] UCCCCfS. “Fuente para conversiones de kWh”. eauc.org.uk. http://www.eauc.org.uk/file_uploads/ucccfs_unit_converter_v1_3_1.xlsx (accesado en mayo 13, 2022).