

## Temporary series to determine electric consumption profiles in commercial buildings. Case study Guayaquil, Ecuador.

### Series temporales para determinar perfiles de consumo eléctrico de edificaciones comerciales. Caso de estudio en Guayaquil, Ecuador

Catalina Vallejo-Coral<sup>1</sup>, Francis Vásquez-Aza<sup>1</sup>, Marco Orozco Salcedo<sup>1</sup>, Miguel Ortega López<sup>2</sup>, Ricardo Garzón<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Investigación Geológico y Energético, catalina.vallejo@geoenergia.gob.ec, francis.vasquez@geoenergia.gob.ec, marco.orozco@geoenergia.gob.ec, Quito - Ecuador

<sup>2</sup>Escuela Politécnica Nacional, miguel.ortega@epn.edu.ec, ricardogzn@hotmail.es, Quito – Ecuador.

ISSN: 2737-6060

#### Abstract

In Ecuador, the electricity consumption of the commercial and public services sector has increased in recent years. This shows the importance of knowing the behavior of the building to reduce its consumption. This requires on-site data collection by qualified professionals, with specialized equipment, representing high costs. However, several studies have shown that from the analysis of electricity consumption, recorded in an hourly period or less, taken by smart meters, it is possible to identify electricity-saving measures. In this context, the present study applies a methodology to determine helpful information on the operation and characteristics of public buildings on the Ecuadorian coast. Based on the information recorded by smart meters, in five consecutive months. The methodology is made up of four stages: (1) data cleaning and filling, (2) time series decomposition, (3) generation of consumption profile, and (4) identification of the temperature influence. The case studies analyzed are the main building “Garzota” of CNEL EP, customer service agency “July 25” of CNEL EP, and the agency “Las Orquídeas” of CNT. The results showed that there is pre-cooling of spaces in CNEL EP buildings which represents 5 % of the total electricity used, while prolonged shutdown reaches 10 %. This is equivalent to spending approximately USD 1100 per month in the main building and USD 78 in the agency.

**Index terms:** public buildings, consumption profiles, time series, electricity consumption.

#### Resumen

En Ecuador, el consumo eléctrico del sector comercial y de servicios públicos ha incrementado en los últimos años evidenciándose la importancia de conocer el comportamiento de la edificación para así reducir su consumo. Para esto, es necesaria la recopilación de datos in situ por parte de profesionales calificados, con equipos especializados, lo que representa altos costos. Sin embargo, varios estudios han demostrado que a partir del análisis del consumo eléctrico, registrado en período horario o menor, tomado por medidores inteligentes (contadores de electricidad electrónicos instalados en las edificaciones), es posible identificar medidas de ahorro eléctrico. En este contexto, el presente estudio aplica una metodología para determinar información útil sobre el funcionamiento y características de edificaciones públicas en la costa ecuatoriana, a partir de la información registrada por los medidores inteligentes, en un período de cinco meses consecutivos. La metodología se compone por cuatro etapas: (1) depuración y relleno de datos, (2) descomposición de la serie temporal, (3) generación de perfiles de consumo, y (4) identificación de la influencia de la temperatura ambiental. Como caso de estudio se analizó el Centro Integrado Matriz Garzota de CNEL EP, el Centro Integrado 25 de julio de CNEL EP, y la agencia Las Orquídeas de CNT. Los resultados mostraron que existe pre enfriamiento de espacios en los edificios de CNEL EP y representa el 5 % de la electricidad total utilizada, mientras que el apagado prolongado alcanza el 10 %. Esto equivale a un gasto aproximado de USD 1100 mensuales en el edificio Matriz y USD 78 la agencia.

**Palabras clave:** edificios públicos, perfiles de consumo, series de tiempo, consumo eléctrico.

## 1. INTRODUCCIÓN

En Ecuador, durante el año 2019, los datos del consumo eléctrico del sector comercial, servicios y administración pública reflejaron alrededor de un 28,1 % del consumo total nacional, ocupando el tercer puesto por detrás del sector industrias y residencial [1]. Se han considerado estos datos ya que los años 2020 y 2021, fueron períodos caracterizados por medidas de confinamiento debido a la pandemia por Covid-19; por lo tanto, son considerados años atípicos. Consecuentemente, este consumo implica gastos al Estado Ecuatoriano y, de acuerdo a la fuente energética utilizada, la generación de los llamados Gases de Efecto Invernadero.

Como parte de la infraestructura implementada para brindar servicios públicos, se encuentran las edificaciones destinadas a su operación; es decir, uso de oficinas, instalaciones tecnológicas, área de recaudaciones, entre otros. Para evaluar de manera específica el consumo energético de estos edificios, se recurre a la realización de auditorías energéticas, para las cuales es necesario utilizar equipos de medición del consumo de energía, sensores y demás dispositivos [2]. Adquirir estos dispositivos implica la disponibilidad de un presupuesto considerable. Las auditorías convencionales implican un recorrido físico por el edificio que puede incluir la realización de pruebas de fugas, imágenes infrarrojas, pruebas de estanqueidad en puertas y ventanas, entre otros. Además, las auditorías requieren que un equipo de personal capacitado inspeccione un edificio completo, involucrando altos costos y un tiempo considerable [3].

En este sentido, surge la alternativa de utilizar metodologías validadas y documentadas para analizar los datos de consumo energético obtenidos de los medidores de energía, instalados en las edificaciones por las empresas distribuidoras de energía. En este estudio se analizará tres edificaciones, ubicadas en la ciudad de Guayaquil localizada en la región costa y pertenece a la zona climática “húmeda muy calurosa” [4].

El análisis de datos para evaluar el comportamiento energético de edificios tiene el potencial de proporcionar una nueva solución para evaluar la eficiencia energética, con un enfoque renovado que aprovecha el análisis de múltiples conjuntos de datos de series temporales en alta resolución, incluidos el consumo energético de los edificios y el clima [5]. Un ejemplo es el uso de la descomposición clásica de series temporales para desarrollar modelos de pronóstico de consumo, pero este enfoque no analiza sistemas de constructivos o identifica medidas de eficiencia [6].

Pickering et al. [2] realizaron un estudio del consumo de energía eléctrica en seis (6) edificaciones ubicadas en Estados Unidos, donde mediante el análisis de datos del consumo de energía eléctrica con intervalos de 15 minutos mostró que la temperatura tiene una correlación lineal con el consumo de 0.94 y que habilitar auditorías

energéticas rápidas y sin mucho costo pueden informar sobre estrategias de ahorro económico y energético.

En el estudio realizado por Allouhi et al. [7] se evidencia que el uso final de la energía en edificios comerciales depende de la región. Se observa que en China, el mayor crecimiento ocurre en la demanda de iluminación y otras aplicaciones, como equipos de oficina, elevadores y otros equipos eléctricos. Por otro lado, en Estados Unidos el crecimiento más notable en el consumo eléctrico se da por aplicaciones de climatización como la calefacción o el aire acondicionado.

El método de la descomposición de las series temporales puede identificar características operativas más específicas de los edificios y señalar oportunidades para el ahorro de energía. Las técnicas clásicas de descomposición de series de tiempo se han utilizado en una variedad de aplicaciones incluyendo estudios de economía, clima, energía y otros fenómenos que varían en el tiempo, pero con una aplicación limitada a edificios [2] a pesar de los beneficios que representan para la gestión de energía.

En el país, la gestión energética de los edificios públicos es limitada debido a los altos costos de las auditorías energéticas, la aplicación de medidas de ahorro energético, la implementación de sistemas de gestión de energía, entre otros. Sin embargo, de acuerdo con datos proporcionados por la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables (ARC), hasta el 2020 en Ecuador se instalaron 144.911 medidores inteligentes (AMI), de los cuales cerca del 20 % se encuentra en edificaciones comerciales [8]. Estos aspectos han motivado la presente investigación que propone analizar el consumo energético de tres edificaciones, ubicadas en la ciudad de Guayaquil, utilizando la metodología de descomposición de series de tiempo, y determinar su validez para obtener información útil sobre el funcionamiento y características de edificaciones públicas en la costa ecuatoriana. La investigación se realiza a través de un algoritmo desarrollado por Garzón [9], la recopilación y tratamiento de los datos de consumo eléctrico (registrados cada 15 minutos), e identificando su correlación con datos climáticos simultáneamente, se realizó en base a la metodología establecida en Pickering et al. [2]. Los datos fueron proporcionados por CNEL EP, mediante la descarga de información de los medidores inteligentes utilizados para la facturación del servicio eléctrico. Esto con el objetivo de obtener varios perfiles de consumo eléctrico y comportamientos específicos de cada edificación frente a la temperatura exterior. Para cumplir con este objetivo, se utilizó el software libre “R” para procesamiento de las bases de datos, posteriormente se realizó la descomposición del consumo eléctrico y se calcula el coeficiente de correlación de Pearson. Los datos climáticos son recopilados in situ por una estación meteorológica del Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE), durante el año 2018, y se identificó

que la temperatura en Guayaquil varía entre 26°C y 35 °C durante el horario de 8:00 a 17:00 [9].

Mediante los resultados se interpretó el patrón de consumo eléctrico durante la operación de cada edificio en días laborables y fines de semana. La metodología de descomposición de series temporales permitió interpretar las características principales de las edificaciones que afectan al consumo eléctrico y que mediante una adecuada gestión energética puedan ayudar a reducir el consumo, afectando principalmente el gasto económico y reduciendo las emisiones de CO<sub>2</sub>.

El presente estudio se estructura a partir de la definición del caso de estudio, el cual considera a tres edificaciones de uso comercial y de servicios correspondiente al sector público ubicadas en la ciudad de Guayaquil. En este apartado se detallan las características de consumo energético de cada edificación, tipo de uso y además se considera datos meteorológicos correspondientes a la zona en la cual se encuentran ubicados. Luego, se detalla la metodología de estudio que se aplicó para el análisis respectivo. Se realiza la depuración y el relleno de datos, la descomposición de la serie temporal, la generación de perfiles de consumo y la identificación de parámetros climáticos influyentes. A continuación se muestran los resultados obtenidos de los perfiles de consumo que relacionan consumo eléctrico en función de tiempo transcurrido en periodos de 24 horas. Posteriormente en la discusión se analizan los gráficos resultantes considerando la correlación existente con los datos climáticos monitoreados y finalmente se generan las conclusiones respectivas.

## 2. CASO DE ESTUDIO

Para este estudio se seleccionaron tres edificaciones públicas que presentan índices de uso de energía (IUE) superiores al valor medio de consumo anual por metro cuadrado determinado en el estudio de Vallejo et al[10]. El Centro Integrado Matriz Garzota de CNEL EP (E1), el Centro Integrado 25 de julio de CNEL EP (E2), y la agencia Las Orquídeas de CNT (E3), ver Fig. 1, Fig. 2 y Fig. 3. Todas localizadas en la ciudad de Guayaquil-Ecuador que pertenece a la región costa y posee un clima húmedo muy caluroso de acuerdo a la zonificación climática local, donde la temperatura varía entre 26°C y 35 °C [9].

De acuerdo con los análisis energéticos desarrollados por Godoy et al.[11], [12], y Vásquez [13] entre 2016 y 2019, las edificaciones E1 y E2 consumieron en promedio de 263 y 82 kWh/m<sup>2</sup> respectivamente y la edificación E3 consumió 845 kWh/m<sup>2</sup>, en el mismo periodo. El IUE de las tres edificaciones supera el promedio, 73 kWh/m<sup>2</sup> para edificaciones comerciales y 342 kWh/m<sup>2</sup> para edificaciones de telecomunicaciones [10].

La planta baja de las tres edificaciones funciona como agencia de recaudación y atención al cliente, mientras

que los pisos superiores tienen usos diferentes. E1 tiene 3 pisos con un área de construcción 6390 m<sup>2</sup>, de los cuales el 82 % está climatizada. Los dos pisos superiores son oficinas administrativas. E2 tiene 8 pisos con un área de construcción 1779 m<sup>2</sup>, de los cuales el 95 % se encuentra climatizada. Los seis (6) niveles superiores se usan para almacenar documentos. E3 tiene 2 pisos con 699m<sup>2</sup> de área de construcción, de los cuales el 95 % está climatizada. El piso superior funciona como cuarto de equipos. El horario de atención de E1 y E2 es de lunes a viernes 8h00-17h00 y sábados de 8h00-13h00 y el horario de atención de E3 horario es de lunes a viernes 08:00 a 16:30.



Figura 1: Imagen de la edificación E1



Figura 2: Imagen de la edificación E2



Figura 3: Imagen de la edificación E3

El control del sistema de climatización de todas las edificaciones es automático usando termostatos para regular la temperatura interior. La edificación E2 es una

excepción ya que la planta baja no dispone de control automático de la temperatura de encendido del sistema de climatización, en este caso son los usuarios quienes controlan el encendido manualmente.

### 3. METODOLOGÍA

En esta sección se presenta la metodología para depurar y rellenar las bases de datos disponibles, así como los pasos a seguir para obtener las componentes que forman parte del consumo eléctrico quince minutas de edificios. Esto en base al estudio realizado por Pickering et al [2]. A partir de las componentes se describe la metodología de cálculo para determinar los perfiles diarios de consumo característico y la influencia del clima sobre estos.

La información del consumo eléctrico utilizado para el desarrollo del presente trabajo fue proporcionada por CNEL EP, empresa distribuidora de electricidad. Los datos corresponden a la energía total registrada (cada quince minutos) por medidores electrónicos para tele medición utilizados para la facturación del servicio eléctrico. Los edificios E1 y E3 cuentan con medidores marca Elster modelos A1052 y Alpha 3, respectivamente. E2 cuenta con un medidor marca Itron modelo C1S. Para el análisis se considera el mismo intervalo de tiempo, desde agosto hasta diciembre de 2018. Por otro lado, se utilizó los datos de temperatura ambiental (°C) recopilados, durante el mismo periodo, por una estación meteorológica instalada en la zona, propiedad del IIGE.

#### 3.1. Depuración y relleno de datos

La depuración consiste en extraer datos atípicos o datos erróneos e inusuales. Sin embargo, existen datos que no necesariamente son incorrectos como el alto consumo energético debido a situaciones dentro de la edificación. En este sentido, es importante distinguir los valores atípicos extremos que son definidos como valores de una magnitud considerablemente mayor a la media [2]. Para esto se usó (1)

$$\text{Valor atípico} \geq \frac{10}{n} \times \sum_{i=1}^n E_i \quad (1)$$

Donde  $E_i$  es el consumo eléctrico en kWh en cualquier tiempo y  $n$  es el número de observaciones en el conjunto de datos. Una vez detectados estos valores, son removidos del conjunto de datos.

Luego, se realiza el relleno de datos considerando cada horario de ocupación. En horario no laborable se realizó considerando el último consumo registrado en el día anterior, ya que la carga base no varía considerablemente en días consecutivos[14]. En horas laborables se eliminaron los días con cuatro o mayor número de datos faltantes consecutivos ya que el relleno de los mismos genera errores en análisis posteriores [5]. El relleno en horas laborales se usó interpolación lineal, aplicada sobre una serie de tiempo [15].

#### 3.2. Descomposición de la serie temporal

La descomposición de la serie temporal se realizó considerando la metodología definida en Pickering et al [2]. Se utilizó un modelo aditivo debido a que la magnitud de las fluctuaciones estacionales del consumo eléctrico no varía al hacerlo con la tendencia. Este modelo propone que la suma de los componentes de una serie de tiempo de como resultado la serie de tiempo original, como se observa en (2).

$$X_t = T_t + S_t + Z_t \quad (2)$$

Donde  $X_t$  es la serie de tiempo con los datos observados,  $T_t$  es la tendencia de la serie de tiempo,  $S_t$  es la componente estacional y  $Z_t$  es el componente irregular.

Para el cálculo de la tendencia de las series de tiempo se usó curvas suavizadas a través de medias móviles. En este trabajo se utilizó  $k=96$ , que corresponde al número de observaciones durante un día con un intervalo de 15 minutos. La tendencia se obtiene calculando la media entre dos días con datos completos de acuerdo a (3).

$$T_t = \frac{\sum_{j=-k}^k X_{t+j}}{2k+1} \quad (3)$$

Para el cálculo de la componente estacional, primero se resta la tendencia de la serie de tiempo original (serie sin tendencia). Luego, se calcula el promedio de datos en cada intervalo de tiempo. Por esta razón, la componente estacional representa las 24 horas del día.

Para calcular la componente irregular, se resta la tendencia y el componente estacional de la serie original, como se muestra en (4).

$$Z_t = X_t - T_t - S_t \quad (4)$$

La componente irregular  $Z_t$ , de las series de tiempo de las edificaciones poseen una distribución normal[2]. Los valores de esta componente presentan una variación que no influye en los resultados finales, por ello al calcular su varianza permite entender cuanta energía se está obviado al utilizar la descomposición de series de tiempo. Esta energía es calculada por (5) y utiliza un intervalo de confianza del 95 %.

$$\mu_z = 1.96 \times \frac{\sigma_z}{\sqrt{n}} \quad (5)$$

Donde 1.96 es el coeficiente del intervalo de confianza del 95 % de una distribución normal,  $n$  es en número de días analizados,  $\mu_z$  es el error calculado y  $\sigma_z$  es la desviación estándar del componente irregular del consumo energético.

#### 3.3. Generación de perfiles de consumo

La operación de las edificaciones depende de varios factores como la ocupación, equipos, al igual que su consumo asociado. Por ello, es importante realizar subconjuntos de datos basados en estos criterios particulares y comparar su comportamiento. Se establecieron como subconjuntos los días laborables y no laborables.

Para garantizar la continuidad de los datos seleccionados al realizar subconjuntos, se siguió los siguientes pasos de acuerdo con [2]: a) cálculo de la tendencia de la serie de tiempo general obtenida mediante la metodología descrita en la sección 3.2; b) se restó la tendencia de la serie de tiempo general y se obtuvo una serie de tiempo sin tendencia; y c) se realizó la agrupación de la nueva serie de tiempo en subconjuntos.

Una vez obtenidos todas las componentes de la serie de tiempo, se utilizó la componente estacional más la media del valor de la tendencia de la serie de tiempo, esto considera cualquier variación en las cargas nocturnas, y de esta manera se obtienen el perfil de consumo característico del subconjunto analizado.

### 3.4. Identificación de la influencia de la temperatura ambiental en el consumo.

Con el fin de identificar la influencia de las condiciones climáticas, sobre el consumo eléctrico de la edificación, se calculó el coeficiente de correlación lineal de Pearson para medir la fuerza de la relación entre la temperatura ambiente y el consumo eléctrico. Los coeficientes pueden variar de -1, para correlaciones negativas, a +1, que representa una correlación lineal perfecta [16].

## 4. RESULTADOS

Los resultados presentados en esta sección son producto de la metodología aplicada a los datos de los tres estudios de caso descritos, durante el periodo comprendido entre el 01 de agosto hasta el 30 de diciembre de 2018 (152 días).

### 4.1. Descomposición de la serie temporal

La descomposición de serie de datos permite entender de manera general el comportamiento de la edificación. La Fig. 4 muestra la descomposición realizada en el conjunto de datos de la temperatura ambiental y el consumo eléctrico de los tres edificios. Para una mejor visualización en las figuras se presentan los resultados de una semana laboral, desde el 03 al 08 de septiembre de 2018. Se muestran las cuatro componentes básicas de una descomposición clásica de series de tiempo: observado, estacional, tendencia e irregular. Los datos observados se pueden obtener sumando los valores de las componentes tendencia, estacional e irregular.

En primera instancia, los datos de temperatura se descomponen para resaltar las características estacionales, de tendencia e irregular. La componente estacional captura la oscilación de la temperatura diurna a lo largo del día y repite en los siguientes días. La componente de tendencia muestra la magnitud general y el aumento o descenso de la temperatura; mientras que la componente irregular muestra cualquier desviación en los datos observados de la componente de tendencia y los datos de la componente estacional en conjunto [2]. La temperatura media identificada mediante la tendencia es

de 25.4°C. Se observa una disminución máxima de 1°C el día martes y un aumento de 1°C aproximadamente el día miércoles. Con respecto a los datos de consumo eléctrico, se aplica una descomposición similar.

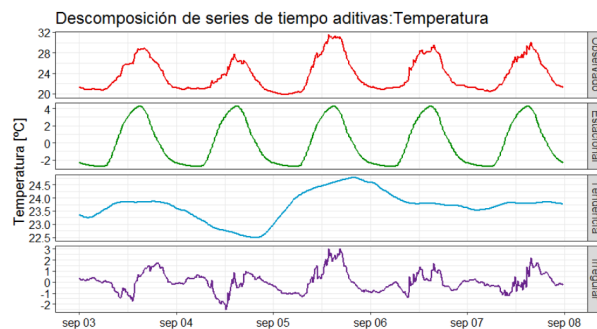


Figura 4: Descomposición de series de tiempo de la temperatura ambiental

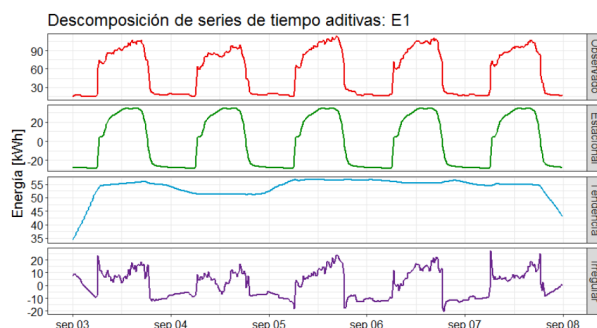


Figura 5: Descomposición de series de tiempo de E1

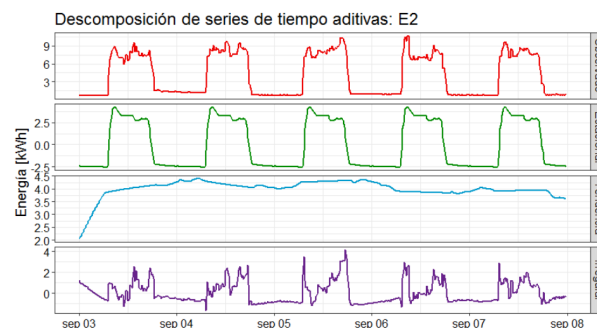


Figura 6: Descomposición de series de tiempo de E2

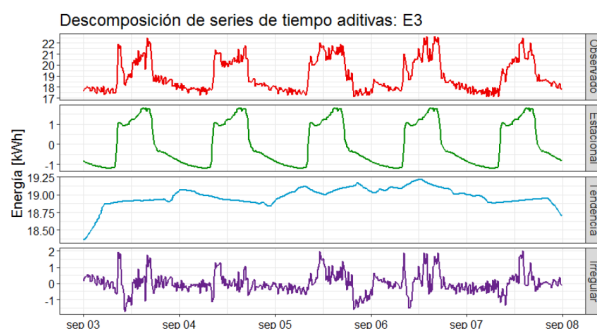


Figura 7: Descomposición de series de tiempo de E3

La edificación E1 representa una carga general de 55 kWh, cada 15 minutos, en los días laborales. En sus extremos, donde inicia y terminan el fin de semana, se observa una disminución de consumo. Antes del inicio de

la semana se observa un valor mínimo de 35kWh y al iniciar el fin de semana este valor aumenta a 45kWh.

De acuerdo con la tendencia, la edificación E2 tiene un consumo general de 4kWh los días laborables, cada quince minutos. Esta edificación solo muestra una disminución del consumo antes del inicio de semana alcanzando un consumo general de 2 kWh. Al iniciar el fin de semana el uso de electricidad mantiene la misma tendencia que los días laborales. De forma gráfica, la componente de tendencia parece oscilar significativamente en días laborables, pero tiene una variabilidad de menos del 13 %. La componente irregular muestra eventos a causa de la periodicidad diaria. Estos eventos se deben probablemente a interacciones humanas aleatorias en horarios laborales al igual que E1. Fuera del horario laboral, son prácticamente cero y durante el mismo pueden llegar hasta 4 kWh. Al igual que E1 la componente estacional se ve repetida 5 veces, debido a la periodicidad diaria y su carga pico se registra a las 7h00.

La edificación E3 presenta un consumo general de 19 kWh cada 15 minutos. Gráficamente, al inicio y final del fin de semana se observa una disminución del consumo, 18.25 y 18.75 kWh respectivamente, sin embargo la variabilidad es del 2 %, por lo que se considera como un consumo casi constante. La componente irregular muestra eventos que no son explicables por periodicidad diaria y alcanza valores hasta de 2kWh. Es decir que durante las horas laborales los eventos de consumo aleatorios son bajos respecto a la carga general del edificio. También se observan lapsos de tiempo prolongados con valores cercanos a cero kWh. La componente estacional se repite durante los cinco días laborales con una variabilidad de 2kWh. Además, es importante señalar que el consumo global del edificio nunca es menor a los 17kWh, como se muestra en los datos observados.

#### 4.2. Generación de perfiles de consumo

La Fig. 8, Fig. 9 y Fig. 10 presentan los perfiles de consumo diario, cada 15 minutos, de los edificios E1, E2 y E3, en kWh. Para su generación se aplicó la descomposición de series temporales de cinco meses de datos (desde el 01 de agosto hasta el 30 de diciembre de 2018) y criterios de subconjuntos para el día de la semana. Estas figuras fueron desplazadas tomando como referencia el valor del consumo a las 00h00 en cada día, para que los análisis inicien desde un consumo cero. Estas tres figuras muestran una diferencia marcada entre el comportamiento de fin de semana y días laborables, así como, la particularidad del lunes entre los días laborables. Los valores negativos, del gradiente de consumo ( $\Delta kWh$ ), en un momento determinado representan un consumo menor al valor identificado a las 00h00 del mismo día.

Todos los edificios (E1, E2 y E3) el día sábado presentan un comportamiento diferente y se puede atribuir a una menor ocupación y diferente horario de

trabajo. Las primeras horas laborales de la mañana del lunes muestran un consumo de energía decreciente, una característica que se observa en las últimas horas del domingo. Esta reducción en el consumo en la mañana desplaza toda la curva del lunes hacia abajo durante el resto del día, pero eso no significa que el lunes se consumen menos energía que los otros días laborables. Si el punto de tiempo para la referencia de 0 kWh se moviera a las 7h00, aproximadamente para todos los edificios, se vería un uso muy similar entre el lunes y los demás días de la semana. Adicionalmente, esta diferencia se puede atribuir a muchos sistemas nocturnos, como equipos grandes, computadoras de escritorio, que aún no están en pleno funcionamiento después de estar apagados durante el fin de semana o a una menor ocupación de empleados.

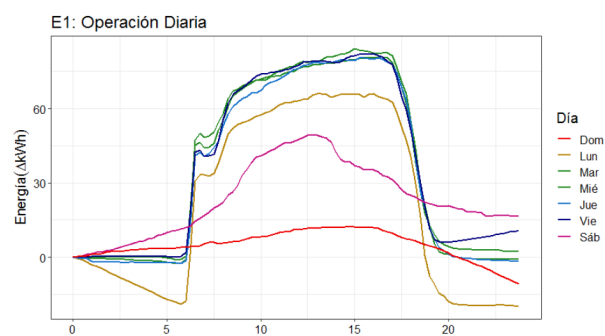


Figura 8: E1: Perfiles diarios para varios días de la semana usando todos los datos del período analizado

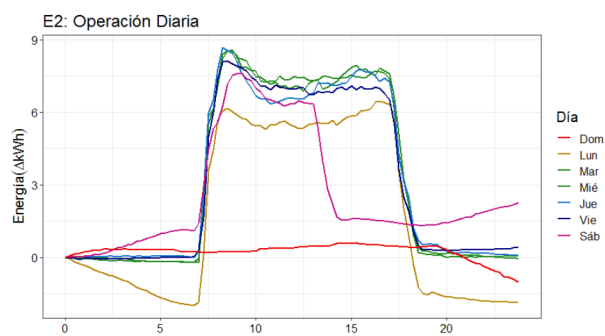


Figura 9: E2: Perfiles diarios para varios días de la semana usando todos los datos del período analizado

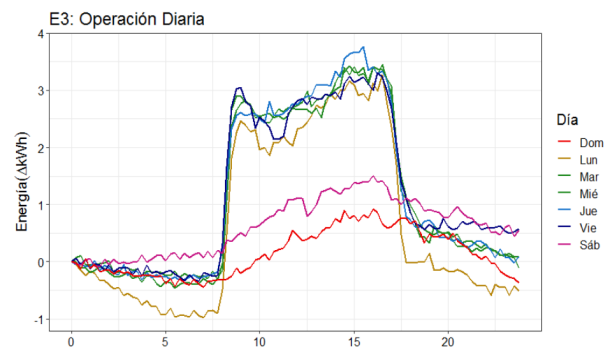


Figura 10: E3: Perfiles diarios para varios días de la semana usando todos los datos del período analizado

El edificio E1 presenta un desfase de aproximadamente 4 horas entre el horario laboral

(8h00 a 17h00) y el horario de consumo energético de la edificación (6h00 a 19h00). Los edificios E2 y E3 presentan un desfase de 2.5 a 3 horas en comparación con el horario laborable, de 8h00 a 17h00 vs 7h00 a 18h30, y de 08:00 a 16h30 vs 7:00 a 18h30 respectivamente.

De lunes a viernes, el edificio E1 presenta un gradiente pico de consumo de 45kWh a las 7h00, con una duración de 1 hora. Luego se observa un incremento sostenido hasta alcanzar un valor máximo a las 17h00 aproximadamente. Los días laborables, el edificio consume entre 45 y 90 kWh más electricidad (cada 15 minutos) respecto a las 00h00 de cada día, mientras que el domingo el consumo se mantiene sobre los 15kWh. En el E2, de lunes a viernes, se observa un gradiente de consumo máximo a las 08h00, y un consumo casi constante desde las 11h00 hasta las 17h00 con un incremento de 8kWh, respecto a la media noche. Durante el domingo el consumo es constante, respecto a las 00h00 y decrece a partir de las 19h00. El edificio E3 presenta dos picos de consumo a las 8h00 y 17h00 de lunes a viernes, con un incremento de 3kWh respecto a las 00h00. A diferencia de E1 y E2, el sábado y domingo se observa un uso de electricidad similar con una variación aproximada de 0.5kWh entre estos días, y un máximo consumo mayor a las 18h00.

### 4.3. Identificación de parámetros climáticos influyentes

Finalmente, el último resultado es una gráfica del coeficiente de correlación lineal de Pearson entre la energía y la temperatura correspondiente de lunes a viernes, en lapsos de 15 minutos. Este resultado se obtuvo con la finalidad de observar los periodos en los cuales el consumo de electricidad está influenciado o no por la temperatura ambiente. En la Fig. 11, Fig. 12 y Fig. 13 se muestra el resultado correspondiente a cada edificación.

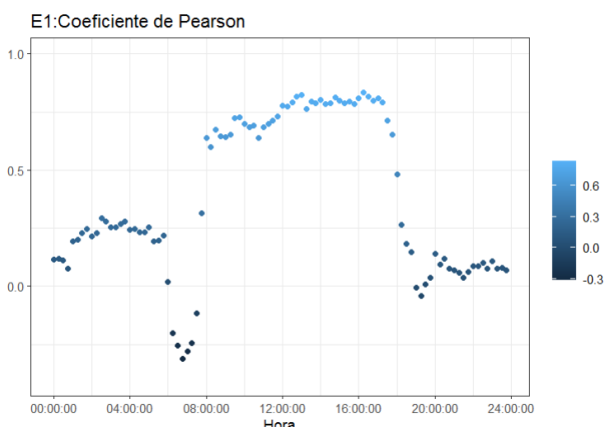


Figura 11: Correlación de Pearson entre la temperatura ambiente y el consumo eléctrico de E1.

De acuerdo con Hernández et al. [16], los valores absolutos del coeficiente de Pearson mayores a 0.41, y entre 0.26 y 0.40 representan una correlación lineal fuerte y media respectivamente. Mientras que valores menores

a 0.25 significa que la correlación lineal entre las variables analizada es pequeña o nula. En sentido, en la Fig. 11 muestra que el consumo eléctrico del edificio E1 tiene una relación lineal positiva y fuerte con la temperatura ambiente desde las 8h00 hasta las 18h00. Esto significa que al aumentar la temperatura se incrementa el uso de electricidad en ese horario. Este comportamiento evidencia el uso de sistemas de climatización para el enfriamiento de espacios. Por otro lado, se observa una correlación nula fuera del horario mencionado, debido a que las cargas eléctricas principales no están relacionadas con la climatización de espacios.

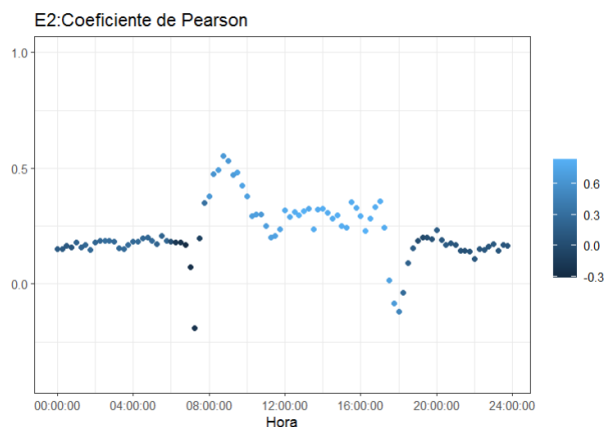


Figura 12: Correlación de Pearson entre la temperatura ambiente y el consumo eléctrico de E2.

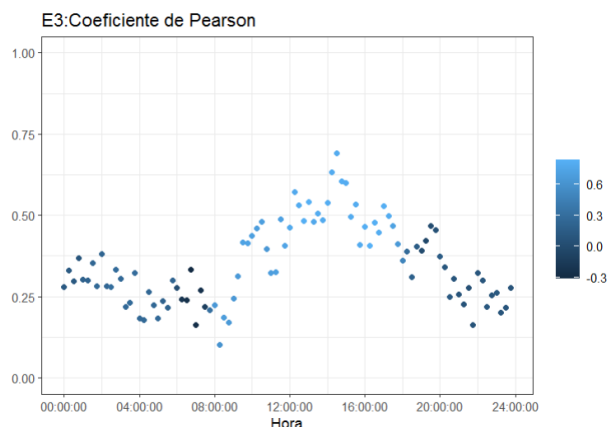


Figura 13: Correlación de Pearson entre la temperatura ambiente y el consumo eléctrico de E3.

El edificio E2 presenta una correlación alta desde las 8h00 hasta las 10h00. Posteriormente se observa una disminución de la correlación hasta las 17h00. Esto refleja el uso de sistemas de climatización con una carga eléctrica predominante de 8h00 a 10h00. Sin embargo, hasta las 17h00 la demanda eléctrica del sistema de climatización es baja en relación al consumo global de la edificación. Fuera de los horarios mencionados el comportamiento es similar al edificio E1, observándose coeficientes negativos durante el encendido y apagado de los edificios.

En la Fig. 13 se observa una correlación lineal fuerte desde 10h00 hasta las 19h00, identificándose el uso de sistemas de climatización. Sin embargo se observa alta variabilidad de los coeficientes, a diferencia de los edificios E1 y E2. Esto también ocurre en las horas adicionales, donde el coeficiente de Pearson oscila entre 0.1 y 0.38. Además, no se observan valores negativos en las horas de encendido y apagado del edificio.

## 5. DISCUSIÓN

Los edificios analizados en este estudio fueron seleccionados debido a que presentan un IUE superior al valor medio de edificios similares localizados en la misma zona climática. Además se caracterizan por ser edificios en las cuales se desarrollan actividades de servicio al cliente, administrativas y técnicas relacionadas con un servicio público. Por esta razón, el consumo de electricidad de lunes a viernes representa más del 80 % consumo global de cada edificación.

Durante el periodo de análisis (01 de agosto al 30 de diciembre de 2018) el edificio E1 presentó un consumo mensual promedio de 122342 kWh (19,15 kWh/m<sup>2</sup>) que representa USD 7585,21, considerando la tarifa eléctrica correspondiente a 0.062 USD/kWh [17]. Los edificios E2 y E3 consumieron en promedio 9670 kWh (5,43 kWh/m<sup>2</sup>) y 51646 kWh (73,88 kWh/m<sup>2</sup>) al mes, respectivamente. Esto representa un gasto de USD599 y USD3202 por el uso de electricidad, sin incluir el gasto por demanda, que es considerado en la facturación del servicio eléctrico.

A pesar de la similitud de actividades desarrolladas en los tres edificios, la intensidad de uso de electricidad del edificio E3 es cuatro veces mayor a E1, el cual tiene 6390 m<sup>2</sup> de construcción (9 veces más grande que E3). Esta particularidad se debe a que, E3 alberga equipos técnicos que permiten brindar el servicio de telecomunicaciones a la zona. Su consumo representa el 94 % del uso total de electricidad, mientras que el 6 % restante se debe a la ocupación del edificio en horario laboral.

En la descomposición de la serie temporal, la proporción del uso de energía durante la jornada laboral está representada por la variabilidad de la componente estacional. En el E3, dicha componente varía en el rango de -1 a 1; mientras que las otras edificaciones presentan un rango más amplio respecto a los datos observados. Por otro lado, mediante la componente irregular, se determina que todos los consumos eléctricos que no están asociados a evento esperado o programados en el E3 se producen en cualquier momento. Contrariamente, en E1 y E2 están relacionados con la periodicidad diaria a causa de la ocupación. Este resultado se debe al funcionamiento de los equipos técnicos de E3, cuyo consumo eléctrico depende de diferentes factores asociados a su operación. Finalmente, la componente estacional de los tres edificios muestran las fluctuaciones del consumo diario, repitiéndose a lo largo de la semana.

Para analizar las características particulares de dichas fluctuaciones se obtuvieron los perfiles diarios de consumo en los cuales se identificaron tres etapas: El encendido corresponde al primer momento del día en el cual, el consumo eléctrico supera la carga nocturna, su duración está relacionada con la estabilización del consumo. Por otro lado, la etapa de ocupación corresponde a la jornada laboral. Finalmente, el apagado inicia cuando existe una disminución súbita del consumo y termina al alcanzar el valor referencial de electricidad utilizada durante la noche.

### *Etapa: Encendido*

Los resultados obtenidos del edificio E1, muestran que de lunes a viernes se produce un encendido programado, a las 6h00, de un sistema de climatización para el pre enfriamiento de espacios. La correlación de consumo de electricidad, asociado a este evento, con la temperatura ambiental es nula. Esto debido a que la carga térmica evacuada por el sistema es provocada por la acumulación de calor durante la noche y no por las condiciones ambientales en ese momento. Los perfiles diarios muestran la utilización de 45 a 50 kWh, cada 15 minutos, para el pre enfriamiento del edificio de 6h00 a 7h30, de lunes a viernes. De igual manera, en el edificio E2 se realiza pre enfriamiento de espacios de 7h00 a 8h00 con un consumo de 6 a 9 kWh cada 15 minutos. A diferencia de E1, este evento también se presenta el sábado de 7:00 a 8h30. A diferencia de E1 y E2, en el edificio E3 no se realiza pre enfriamiento, el sistema de climatización se enciende a las 8h00 y enfría el espacio hasta la temperatura configurada durante 1 hora.

Los picos de consumo alcanzados por los tres edificios antes o al iniciar la jornada laboral demuestran que durante la noche existe acumulación de calor al interior de los edificios. La electricidad utilizada en E1 y E2 durante el enfriamiento corresponde al 6 % del consumo total cada edificio, y representa un gasto mensual de USD 453 y USD 32 respectivamente.

Nafisa et al. [18], en su estudio establece que en ciudades con clima húmedo muy caluroso, es beneficioso utilizar estrategias pasivas que permitan explotar las particularidades del clima. Considerando las oscilaciones térmicas que se presentan en la ciudad, la ventilación nocturna es una alternativa para disminuir la carga térmica de los edificios durante la noche.

### *Etapa: Ocupación*

En el edificio E1, a partir de las 7h30 hasta las 17h30 se encienden sistemas de climatización adicionales para contrarrestar la carga térmica causada por las actividades desarrolladas y las condiciones ambientales. Debido a la inercia del edificio, durante este periodo el consumo presenta un comportamiento creciente hasta alcanzar su máximo valor a las 17h00, dos horas después del pico de temperatura ambiental. Por otro lado, en el edificio E2, durante el periodo de ocupación (de 8h00 a 17h00), se mantiene encendido el sistema de climatización,

utilizado durante el pre enfriamiento, con un consumo sostenido de 7kWh quince minutos, aproximadamente. E3 presenta un consumo creciente similar a E1, sin embargo su consumo máximo presenta la misma magnitud que el periodo de enfriamiento.

A pesar de los tres edificios mantienen activos los sistemas de climatización, durante el periodo de ocupación, la influencia de la temperatura sobre el consumo de electricidad es diferente. Para E1, el coeficiente de Pearson alcanza valores mayores a 0,6, mientras que para E2 varía entre 0,2 y 0,4. Esto se debe a que, en E1 todos los sistemas de climatización tienen control automático para su operación, por lo que tiene una respuesta directa a las variaciones de la temperatura ambiental. Contrariamente, el sistema de climatización de la primera planta de E2 cuenta con control manual, por lo que su operación no responde a las condiciones climáticas sino al requerimiento térmico específico de los ocupantes permanentes. Por otro lado, la variación del coeficiente de Pearson no presenta un patrón relacionado con el consumo. Esto debido a que los equipos de climatización utilizados en este periodo no son la carga eléctrica predominante del edificio. En ningún caso se obtiene valores superiores a 0,8 debido a cargas eléctricas como equipos de oficina, iluminación entre otros, cuyo consumo no está relacionado con la temperatura.

#### *Etapas: Apagado*

De lunes a viernes, desde las 17h30 hasta la 19h00 en E1 se lleva un proceso de apagado paulatino del edificio hasta un consumo nocturno de 20kWh cada 15 minutos aproximadamente. Los sábados el sistema de climatización se apaga alrededor de las 13h30. Sin embargo, se llega al consumo nocturno a las 19h00, de manera similar a un día entre semana, a pesar de que la jornada laboral termina a las 13h00. Durante varios fines de semana, del periodo de análisis, el consumo nocturno del edificio alcanzó los 43kWh cada 15 minutos. Por otra parte, en días laborables el edificio E2 disminuye su consumo a partir de las 17h00 y alcanza la carga nocturna (1,5 kWh cada 15 minutos) a las 18h30. Los sábados el apagado se realiza durante una hora, de 13h00 a 14h00. En E3 la etapa de apagado tiene menor duración, de 17h00 a 18h00. Esto evidencia que es utilizar la electricidad, fuera del horario laboral, de una forma más eficiente.

En E1 y E2, el apagado prolongado del edificio de lunes a sábado representa el 10 % y 7,5 % del consumo total que supone un gasto de USD 740 y USD 46 mensuales.

Los domingos no se desarrollan actividades laborales en ningún edificio. E1 presenta mayor consumo, respecto a la carga nocturna, durante el día y alcanza su valor máximo a partir de las 13h00 como respuesta a la variación de las condiciones climáticas. Por otro lado, E2 presenta un consumo casi constante durante todo el día, similar a la electricidad utilizada durante la noche. Mientras que en E3 el consumo es similar durante el fin

de semana.

## **6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

La descomposición de series de tiempo del consumo eléctrico, registrado por medidores inteligentes cada quince minutos, es una metodología válida para obtener información útil sobre el funcionamiento y características de edificaciones públicas en la costa ecuatoriana. A partir de la variación de la componente tendencia del edificio E3 el lunes, desde las 00h00 hasta el inicio de la jornada laboral, y el rango de variación de la componente estacional, fue posible identificar el consumo de electricidad constante, de lunes a domingo, de los equipos de telecomunicaciones. Mientras que la tendencia de E1 y E2 presentaron variaciones hasta del 50 %, E3 presentó una variación máxima del 2 %. Por otro lado, mediante la componente irregular, se identificó que durante la ocupación de los edificios E1 y E2 existen eventos no programados, como la conexión de equipos a los tomacorrientes o equipos diferentes a la climatización, que provocan un consumo de electricidad aleatorio. Contrariamente, en E3 dichos consumos se presentan durante las 24 horas del día y no están asociados con la ocupación.

Al determinar los perfiles diarios de los tres casos de estudio fue posible identificar patrones de uso eficientes. De las tres edificaciones analizadas, únicamente el edificio E3 presenta una etapa de operación coincidente con la jornada laboral. Por esta razón, no tiene gastos de electricidad asociados al pre enfriamiento de espacios o apagado prologado de equipos utilizados para el desarrollo de actividades. No obstante, E1 y E2 utilizan el 16 % y 13 % de la energía total del edificio, respectivamente, a causa de dichos eventos. Esto representa al mes USD 1100 para E1 y USD 78 para E2.

Durante el fin de semana, se observó que el sábado no se realiza pre enfriamiento de espacios en E1. Sin embargo, el edificio se apaga a las 19h00, a pesar de que la jornada laboral termina a las 13h00, utilizando se energía sin ser requerida. Por otro lado, E3 en fin de semana presenta un consumo de 19kWh cada 15 minutos, que corresponde únicamente al funcionamiento de los equipos de telecomunicaciones ya que el edificio no está ocupado.

Todas las características de funcionamiento de los tres casos de estudio, fueron validadas mediante visitas en sitio y conversaciones con personal que se encuentra en las instalaciones. Por esta razón, los perfiles establecidos sirven como insumo para identificar patrones del mal uso de la electricidad e identificar estrategias que permitan obtener un ahorro sin afectar las actividades desarrolladas.

Debido a la disponibilidad de los datos, el presente estudio se realizó considerando 5 meses continuos de información, por lo que no es posible definir la variación del funcionamiento de los edificios a causa de cambios estacionales. En este sentido, se recomienda ampliar la

investigación considerando 24 meses consecutivos de datos.

Considerando las medidas de confinamiento establecidas a nivel nacional por Covid-19, desde el 2020 al 2021, y la modalidad de teletrabajo definida para continuar con el desarrollo de actividades laborales, se recomienda aplicar la metodología de este estudio considerando el periodo mencionado, para evaluar el impacto económico y energético del teletrabajo en el sector público.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores presentan un agradecimiento a la Corporación Nacional de Electricidad (CNEL-EP) y a la Corporación Nacional de Telecomunicación (CNT) por su cooperación para el desarrollo de este estudio.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Instituto de Investigación Geológico y Energético, “Balance Energético Nacional 2020,” 2020. [Online]. Available: <https://www.recursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2021/09/Balance-Energético-Nacional-2020-Web.pdf>
- [2] E. M. Pickering, M. A. Hossain, R. H. French, and A. R. Abramson, “Building electricity consumption: Data analytics of building operations with classical time series decomposition and case based subsetting,” *Energy Build.*, vol. 177, pp. 184–196, 2018, doi: 10.1016/j.enbuild.2018.07.056.
- [3] B. Shen, L. Price, and H. Lu, “Energy audit practices in China : National and local experiences and issues,” *Energy Policy*, vol. 46, pp. 346–358, 2012, doi: 10.1016/j.enpol.2012.03.069.
- [4] Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, Norma Ecuatoriana de la Construcción. Eficiencia Energética. Ecuador, 2018, p. 48. [Online]. Available: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>
- [5] E. M. Pickering, M. A. Hossain, J. P. Mousseau, R. A. Swanson, R. H. French, and A. R. Abramson, “A cross-sectional study of the temporal evolution of electricity consumption of six commercial buildings,” *PLoS One*, vol. 12, no. 10, 2017, doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187129>.
- [6] A. Tascikaraoglu and B. M. Sanandaji, “Short-Term Residential Electric Load Forecasting: A Compressive Spatio-Temporal Approach,” *Energy Build.*, vol. 111, pp. 380–392, 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.11.068>.
- [7] A. Allouhi, Y. El Fouih, T. Kousksou, A. Jamil, Y. Zeraoui, and Y. Mourad, “Energy consumption and efficiency in buildings: Current status and future trends,” *J. Clean. Prod.*, vol. 109, pp. 118–130, 2015, doi: 10.1016/j.jclepro.2015.05.139.
- [8] Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables (ARC), “Estadística anual y multianual del sector eléctrico ecuatoriano 2019,” 2020. [Online]. Available: <https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/09/Estadistica-2020-baja.pdf>
- [9] R. Garzón, “Uso de series de tiempo para la caracterización del consumo eléctrico de edificaciones públicas en Guayaquil, Ecuador,” Escuela Politécnica Nacional, 2020. [Online]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21413>
- [10] C. Vallejo, G. Villacreses, F. Vásquez, and F. Godoy, “Evaluación comparativa de los consumo energéticos de edificaciones públicas en la Región Costa e Islas Galápagos,” *Revista Cámara de la Construcción, Quito-Ecuador*, p. 4, 2018.
- [11] L. Godoy, “Análisis Energético Centro Integrado Matriz Garzota-CNEL EP,” Quito-Ecuador, 2019.
- [12] L. Godoy, “Análisis energético centro integrado 25 de julio,” Quito-Ecuador, 2019.
- [13] F. Vásquez, “Análisis energético agencias Las Orquideas - CNT,” Quito-Ecuador, 2019.
- [14] M. M. Afshari A, Nikolopoulou C, “Life-Cycle Analysis of Building Retrofits at the Urban Scale— A Case Study in United Arab Emirates,” *Sustainability*, vol. 6, 2014, doi: <https://doi.org/10.3390/su6010453>.
- [15] S. Moritz, “Package ‘imputeTS,’” 2021. [Online]. Available: <https://cran.r-project.org/web/packages/imputeTS/imputeTS.pdf>
- [16] L. Hernández et al., “A study of the relationship between weather variables and electric power demand inside a smart grid/smart world framework,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 12, no. 9, pp. 11571–11591, 2012, doi: 10.3390/s120911571.
- [17] Agencia de regulación y control de Electricidad, “Pliego tarifario para las empresas eléctricas de distribución - Periodo enero-diciembre 2018,” 2017. [Online]. Available: <https://www.regulacionelectricidad.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/2018-01-11-Pliego-y-Cargos-Tarifarios-del-SPEE-20182.pdf>
- [18] N. Bhikhoo, A. Hashemi, and H. Cruickshank, “Improving Thermal Comfort of Low-Income Housing in Thailand through Passive Design Strategies,” *Sustainability*, vol. 9, no. 8, pp. 1–23, 2017, doi: 10.3390/su9081440.