



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS**

**DISEÑO DE ARQUITECTURA LÓGICA PARA ADMINISTRACIÓN DE
INFORMACIÓN EN EDIFICIO COMERCIAL DE GUAYAQUIL BASADA EN IOT**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero de Sistemas

AUTOR: Kevin Andres Manobanda Caluña

TUTOR: Maximo Giovanni Tandazo Espinoza

Guayaquil – Ecuador

2023

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Yo, Kevin Andres Manobanda Caluña con documento de identificación N° 0954352480 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 15 enero del año 2023

Atentamente,



Kevin Andres Manobanda Caluña
0954352480

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, *Kevin Andres Manobanda Caluña* con documento de identificación No. 0954352480, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor(a) del Artículo Académico: “*Diseño de arquitectura lógica para administración de información en edificio comercial de Guayaquil basada en IoT*”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero de Sistemas, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 15 enero del año 2023

Atentamente,



Kevin Andres Manobanda Caluña

0954352480

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Maximo Giovani Tandazo Espinoza con documento de identificación N° 0916028921, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: *Diseño de arquitectura lógica para administración de información en edificio comercial de Guayaquil basada en IoT*, realizado por *Kevin Andres Manobanda Caluña* con documento de identificación N° 0954352480, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 15 enero del año 2023

Atentamente,



Maximo Giovani Tandazo Espinoza

0916028921

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente, a mis padres que me apoyaron y contuvieron los momentos malos y en los momentos buenos. Gracias por enseñarme a afrontar las dificultades sin perder nunca la cabeza ni rendirme en el intento.

Me han enseñado a ser la persona que he logrado ser en este momento, gracias a sus principios, valores, perseverancia y empeño lograron inculcar este tipo de educación desde mi infancia, gracias a esto han fomentado en mí el deseo de superación y el triunfo en la vida. Espero contar con su valioso y condicional apoyo en todas las etapas de mi vida.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por la familia que me otorgó y permitirme de gozar de su valiosa compañía además de gozar de muchos beneficios que con el transcurso del tiempo me enseñaron a valorarlos y aprovecharlos, a los docentes que me inculcaron sus enseñanzas desde los inicios de mi carrera profesional, donde compartieron sus conocimientos experiencias y principalmente apoyo moral para no desistir en las múltiples pruebas que se presentaban a lo largo de este proceso de enseñanza.

Agradezco a mis compañeros de aula que supieron aceptarme para complementarnos con nuestras debilidades y fortalezas e hicieron a lado nuestras diferencias y me brindaron su amistad, confianza y apoyo.

RESUMEN

Se analizó literatura relacionada a Internet of Things y Smart Building para conocer el entorno y aplicarlo a un diseño. Se propone un modelo que permite la gestión sobre el consumo de los recursos en un edificio, mediante el modelo es factible integrar o focalizar la generación de datos realizada por los sensores y tomar acciones por los actuadores. El objetivo general es diseñar una arquitectura lógica para administración de información en un edificio comercial de la ciudad de Guayaquil basada en IoT. Entre los objetivos específicos están: analizar literatura científica para conocimiento de modelados IoT, diseñar una arquitectura lógica para captura y procesamiento de datos en un edificio privado comercial de la ciudad de Guayaquil basada en IoT estándar IEEE 1451-99, y validar la arquitectura lógica para fiscalización y aprobación mediante el estándar IEEE P2413. Entre los resultados se obtuvo: 23 artículos analizados luego de la revisión sistemática, se conoció que los modelos utilizan entre 3 y 5 capas, 19 artículos se enfocan en gestión de energía, 11 artículos utilizan Inteligencia Artificial con IoT, los sensores-actuadores son los dispositivos más utilizados, un diseño de una arquitectura de cinco capas (nivel dispositivos, nivel red, nivel nube, nivel aplicaciones, nivel usuario) basada en IEEE 1451-99, y se aplicó el estándar IEEE P2413 para su aprobación.

Palabras claves: Edificios Inteligentes, Internet de las Cosas, Estándar IEEE 1451-99, Estándar IEEE P2413.

ABSTRACT

Literature related to the Internet of Things and Smart Building was analyzed to know the environment and apply it to a design. A model is proposed that allows the management of the consumption of resources in a building, through the model it is feasible to integrate or focus the generation of data carried out by the sensors and take actions by the actuators. The general objective is to design a logical architecture for information management in a commercial building in the city of Guayaquil based on IoT. Among the specific objectives are: analyze scientific literature for knowledge of IoT modeling, design a logical architecture for data capture and processing in a private commercial building in the city of Guayaquil based on IoT standard IEEE 1451-99, and validate the logical architecture for control and approval through the IEEE P2413 standard. Among the results were obtained: 23 articles analyzed after the systematic review, it was known that the models use between 3 and 5 layers, 19 articles focus on energy management, 11 articles use Artificial Intelligence with IoT, sensors-actuators are the most used devices, a design of a five-layer architecture (level device, level network, level cloud, level application, level user) based on IEEE 1451-99, and the IEEE P2413 standard was applied for approval.

Key words: Smart Buildings, Internet of Things, IEEE 1451-99 Standard, IEEE P2413 Standard.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	10
1.1. Objetivo general	11
1.2. Objetivos específicos.....	11
2. REVISIÓN DE LITERATURA	13
2.1. Internet of Things (IoT).....	13
2.2. IoT en Edificios inteligentes (Smart Building)	13
3. METODOLOGÍA	16
3.1. Analizar literatura científica para conocimiento de modelados IoT mediante revisión de la literatura.....	16
3.2. Diseñar una arquitectura lógica para captura y procesamiento de datos en un edificio privado comercial de la ciudad de Guayaquil basada en IoT estándar IEEE 1451-99	17
3.3. Validar la arquitectura lógica para fiscalización y aprobación mediante el estándar IEEE P2413	17
4. RESULTADOS.....	18
4.1. R1: Análisis de la literatura científica para conocimiento de modelados IoT mediante revisión de la literatura.....	18
4.2. R2: Diseño de una arquitectura lógica para captura y procesamiento de datos en un edificio privado comercial de la ciudad de Guayaquil basada en IoT estándar IEEE 1451-9920	
4.3. R3: Validación de la arquitectura lógica para fiscalización y aprobación mediante el estándar IEEE P2413.....	23
5. DISCUSIÓN	25
6. CONCLUSIÓN.....	26
REFERENCIAS	27

1. INTRODUCCIÓN

En los edificios comerciales o viviendas, las personas se reúnen por varias horas cada día, esto hace que consuman energía, agua y otros recursos para funcionar, Internet of Things IoT se aplica para gestionar los recursos en estos llamados Edificios Inteligentes (Smart Building SB), cada vez con nuevas técnicas y hardware que permite tomar decisiones de acuerdo a los datos generados; IoT se utiliza en edificios para: control anticipado de infraestructura del edificio, ahorro de iluminación, ahorro de calefacción, optimización de ventilación, ahorro de aire acondicionado, optimización de ascensores e infraestructura de red, minimizar el consumo de energía eléctrica, detectar o recontar la ocupación de áreas (Apostolo et al., 2021), medir oxígeno, luminosidad, espacios de parqueos (Bashir et al., 2020), entre otros.

El crecimiento de la urbanización tiene desafíos como desarrollo de infraestructuras, generación de nuevos datos y control de afluencias, porque se necesita conocer la situación o comportamiento de las aglomeraciones, un ejemplo de esto fue la pandemia de COVID-19; de acuerdo a las Naciones Unidas, en la actualidad el 55% de la población vive en zonas urbanas o ciudades, en cambio para el 2050 será 68% (Nations, 2020); de acuerdo a la empresa Cisco, el 50% de las conexiones a Internet están representadas por los dispositivos IoT en el año 2022 y cerca de 14600 millones de conexiones IoT; IoT tiene un impacto en Smart City con aplicaciones en infraestructuras críticas como aeropuertos, edificios, mercados de abasto, monitoreo de medio ambiente, gestión de tráfico automotriz, monitoreo de parques recreacionales, además en los servicios como iluminación, gestión de basura, urbanismo, entre otros (Santana et al., 2020). IoT es una tecnología en rápido ascenso que capta y transmite los datos de los dispositivos heterogéneos, una arquitectura IoT se compone de varias capas, sensores inalámbricos, radio frecuencia, entre otros, puede utilizar comunicación por 3G, 4G, Bluetooth, Gateway, WiFi o ZigBee; los sensores IoT brindan continuo seguimiento del estado de edificios, aunque IoT tiene desafíos como: crecimiento a gran escala, formar redes de sensores, aumento del volumen de datos, confiabilidad, seguridad, contextos legales y sociales, y la heterogeneidad en dispositivos y datos (Rahman et al., 2020).

Se debe considerar que diseñar un modelo IoT para SB tiene desafíos como: escalabilidad que es la característica para que la arquitectura se extienda, seguridad-privacidad se aplica con protocolos sólidos que protejan los datos de las personas, rendimiento de los dispositivos IoT para detectar posibles bajas y tolerancia a fallos, gestionar los nuevos volúmenes de datos con

nuevos métodos, mantener costos bajos por pago de dispositivos, operaciones o mantenimiento (Mir et al., 2021).

Existe gran cantidad de investigaciones y aplicaciones IoT en dominios inteligentes que optimizan las actividades en inventario de edificios, seguimiento en el ciclo de vida de edificios y control de recursos en los edificios; los dispositivos IoT son más accesibles en precio para monitorear y controlar los espacios en los edificios, los profesionales e investigadores entienden los beneficios, desventajas y limitaciones; las principales empresas como Amazon, Apple, IBM, Intel y Google tienen dispositivos y servicios para SB, las personas que viven o trabajan en los SB generan datos y son procesados por la tecnología IoT; esta tecnología “aumenta el confort” como acústica, aire, clima, visual y disminución de energía (Mohammed et al., 2022).

IoT es un “sistema adaptable y seguro” con aplicaciones informáticas de interfaz de usuario para gestionar datos generados en edificios y ser más eficientes, se considera que la Inteligencia debe adoptarse en hogares o industrias o edificios, además se debe alentar a las personas a optimizar los recursos (Akhtar et al., 2021).

IoT genera oportunidades para detectar o controlar el entorno de infraestructuras mediante los sensores y actuadores en forma remota, esta tecnología es utilizada en varias áreas como salud, industria, hogar, redes de energía, ciudad inteligente, entre otros; se hace necesario adoptar el acceso remoto y controlado desde cualquier parte para mejor gestión de infraestructuras de edificios.

1.1. Objetivo general

Diseñar una arquitectura lógica para administración de información en un edificio comercial de la ciudad de Guayaquil basada en IoT.

1.2. Objetivos específicos

Analizar literatura científica para conocimiento de modelados IoT mediante revisión de la literatura.

Diseñar una arquitectura lógica para captura y procesamiento de datos en un edificio privado comercial de la ciudad de Guayaquil basada en IoT estándar IEEE 1451-99.

Validar la arquitectura lógica para fiscalización y aprobación mediante el estándar IEEE P2413.

Un modelo o arquitectura permite restricciones sobre uso de recursos o planificar el consumo de los recursos mediante sensores IoT o actuadores IoT, el seguimiento al consumo es automatizado para controlar o conocer patrones, es factible integrar o focalizar la generación de datos realizada por los sensores y tomar acciones por los actuadores.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Internet of Things (IoT)

IoT es una red física de objetos compuesta por sensores, actuadores, dispositivos electrónicos, software, nube, entre otros; los dispositivos mejorados y económicos, el software sencillo, los servicios de la nube hacen posible implementar IoT en edificios; un edificio con IoT significa que los objetos pertenecen a la IoT con características de captura, conexión en red, identificación y procesamiento para enlazar datos entre sí y con las personas; las capacidades de IoT son potenciales y valiosas para tomar de decisiones dinámicas de acuerdo al contexto, o que las infraestructuras tengan “autonomía inteligente” para ejecutar los objetivos del SB; IoT ayuda en la gestión de servicios de buen nivel que disponen las señales apropiadas a los dispositivos e información adecuada a las personas (Vahidinasab et al., 2021).

Un ecosistema IoT realiza “el monitoreo del entorno” a través de sensores para satisfacer requisitos de los usuarios y otros interesados; los sensores captan datos del entorno de acuerdo al tipo; estos sensores digitalizan los datos, luego se envían a una ubicación para ser almacenados, procesados y analizados; el “análisis” ayuda a obtener información para toma de decisiones más inteligentes e informadas (Bashir et al., 2020).

Un edificio inteligente es una infraestructura que gestiona los recursos, minimiza los consumos o mitiga las emisiones, el diseño de edificios inteligentes es importante en la optimización de recursos como energía, agua y otros (Nabavi et al., 2021).

2.2. IoT en Edificios inteligentes (Smart Building)

Santana et al., propone una arquitectura de 3 capas llamadas dispositivos, agregador y procesamiento; la arquitectura hace reconocimiento de masas en tiempo real para SB y es un escenario de privacidad que utiliza Inteligencia Artificial para evaluar el comportamiento de las personas en edificios; los sensores se conectan via Wi-Fi y la arquitectura la probaron en varias edificaciones (Santana et al., 2020).

Apostolo et al., propone utilizar información obtenida de los sensores conectados por Wi-Fi en SB, los datos son procesados por Inteligencia Artificial para pronosticar la demanda de puntos de acceso inalámbricos y ser eficientes en consumo de energía, en las pruebas se utilizaron algoritmos de Machine Learning durante 6 meses (Apostolo et al., 2021).

Se realiza auditoria (Akhtar et al., 2021) sobre consumo de energía de los electrodomésticos en edificios residenciales, se utilizaron dispositivos IoT para captar eficiencia, humedad, temperatura y el propio consumo de energía como parte de la auditoría; para reducir el consumo de energía en una ciudad de India emplearon sistemas de energía solar y se distribuye esa energía a los electrodomésticos y esto representa un bajo consumo en 69% en 5 edificios.

Un metamodelo es presentado en (Bashir et al., 2020) para un entorno IoT aplicado a un SB que genera grandes cantidades de datos, estos datos son analizados en Big Data por los dispositivos heterogéneos que capturan los datos en diferentes tiempos y espacios; la arquitectura consta de cuatro capas: procesos, información, tecnología y facilitadores; en la capa tecnologías utilizan los sensores y actuadores de IoT, y utilizan herramientas de software para Big Data.

Los SB utilizan medidores inteligentes y sensores IoT para medir el consumo de energía y desplazamiento de las personas dentro de las infraestructuras; los datos sobre consumo, sensores y electrodomésticos son utilizados para calcular la energía desperdiciada y pronosticar el estado de un electrodoméstico, el uso de energía y pautas de movimiento (Kwankajornkeat & Aswakul, 2022).

Para aumentar la seguridad y privacidad en los sensores IoT, el proyecto de (Rahman et al., 2020) aplica Blockchain mediante enlaces entre interesados no confiables; la arquitectura tiene sistema de detección-control y perspectivas automáticas distribuidos en cuatro capas: dispositivos, datos, control y blockchain; entre los equipos automáticos están ventilación, luz, encendedores, alarmas, cámaras, además hay sensores y controladores.

Un sistema de gestión se propone en (Metallidou et al., 2020) formado por sensores, actuadores, aplicaciones informáticas web o móviles, conexiones; el sistema gestiona el rendimiento y la eficiencia de energía utilizando IoT en edificios nuevos o existentes, demás utilizan un control remoto que es automatizado y se enlaza a la nube; el sistema minimiza los procesos que consumen energía mediante una plataforma, los indicadores son útiles para aplicar medidas preventivas o tomar decisiones.

El enfoque sobre un edificio residencial se aplica IoT para seguimiento del consumo de vehículos eléctricos, consumo de departamentos, consumo de energía de la red pública, generación de energía, y acumulación de energía en baterías; el enfoque busca disminuir los

costos de consumo de energía eléctrica por cada departamento en el edificio residencial (Foroozandeh et al., 2022).

La generación de datos producida por sensores IoT y controladoras en un SB es utilizada para planificar y maniobrar la generación de energía, además utilizan algoritmos de Inteligencia Artificial para predecir las cargas eléctricas y planificar la generación de energía eléctrica que satisfaga la demanda y bajar costos; el framework en una primera fase captura los datos y en una segunda fase predice el consumo (Syed et al., 2021).

3. METODOLOGÍA

3.1. Analizar literatura científica para conocimiento de modelados IoT mediante revisión de la literatura

Se revisa de las bases de datos científicas como IEEE, ACM y SPRINGER, se aplica la revisión de la literatura para conocer el fundamento teórico en IoT y Smart Building, se utiliza el modelo PRISMA para filtrar los artículos científicos. La revisión de la literatura se realizó en las bibliotecas IEEE, ACM y Springer, se obtuvo 88 artículos, se removieron 31 artículos (3 duplicados, 19 no concuerdan con el objetivo principal, 9 son solo texto), se excluyeron 11 artículos por ser sólo modelos matemáticos, no se recuperaron 12 artículos por pedir un segundo usuario, otros 11 artículos se excluyeron por ser pago en línea o ser artículo de sólo resumen o ser artículo de idioma diferente al inglés, finalmente se obtuvo 23 artículos para su análisis en forma detallada y estos se utilizan para conocimiento de arquitecturas o modelados IoT. Ver Figura 1.

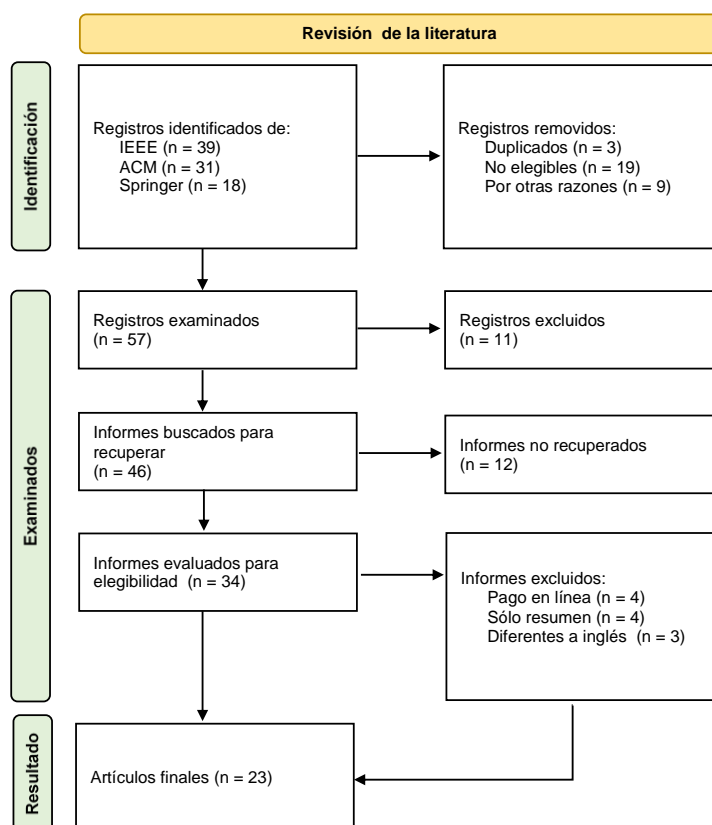


Figura 1. Revisión con modelo PRISMA.

Los 23 artículos obtenidos en la revisión de la literatura son:

Tabla 1. Artículos obtenidos

Artículos	Año	Cantidad
(Santana et al., 2020), (Bashir et al., 2020), (Rahman et al., 2020), (Metallidou et al., 2020)	2020	4
(Apostolo et al., 2021), (Akhtar et al., 2021), (Syed et al., 2021), (Mir et al., 2021), (Nabavi et al., 2021), (Ouammi, 2021), (Vahidinasab et al., 2021), (Andrade et al., 2021), (Guzman et al., 2021), (Kanthila et al., 2021), (Voss et al., 2021), (Hussain et al., 2021), (Gong et al., 2021),	2021	13
(Kwankajornkeat & Aswakul, 2022), (Foroozandeh et al., 2022), (Han et al., 2022), (Mohammed et al., 2022), (Lee et al., 2022), (Thanh et al., 2022)	2022	6

Fuente: Generado por autor.

3.2. Diseñar una arquitectura lógica para captura y procesamiento de datos en un edificio privado comercial de la ciudad de Guayaquil basada en IoT estándar IEEE 1451-99

Se presenta un diseño arquitectónico lógico, es decir el grafico realizado en Microsoft Visio y la descripción en forma detallada sobre el diseño en capas; algunos componentes que debe tener la arquitectura son: sensores (calidad del aire, movimiento de personas, radiación solar, humedad, monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre, dióxido de carbono, agua), actuadores, arduino, raspberry, dispositivos de comunicación, protocolos de comunicación, base de datos para almacenamiento, nombramiento de programas para procesamiento, indicadores para medir los comportamientos dentro del edificio. Se utiliza el estándar IEEE 1451-99 como norma que aplica la interoperabilidad y la seguridad del envío de datos en este tipo de red IoT (IEEE-Estandar 1451, 2022).

3.3. Validar la arquitectura lógica para fiscalización y aprobación mediante el estándar IEEE P2413

El estándar IEEE 2413, un marco arquitectónico que se utiliza en el diseño e implementación de redes IoT, se usa en diferentes dominios, el estándar aplica una perspectiva de seguridad, y se considera los aspectos más distinguidos del estándar para el diseño de este tipo de sistemas. Se presenta como caso de uso sobre un edificio comercial (IEEE-Standar 2413, 2022).

4. RESULTADOS

4.1. R1: Análisis de la literatura científica para conocimiento de modelados IoT mediante revisión de la literatura

El análisis se basa en los 23 artículos obtenidos en el modelo PRISMA de la revisión literaria, los artículos fueron plasmados en una hoja de cálculo, por cada artículo se verificó las características como: cantidad de capas de los modelos, el propósito, otras tecnologías utilizadas y dispositivos utilizados, ver tabla 2.

Tabla 2. Artículos analizados

No Artículo	Capas				Propósito			Otras Tecnologías			Dispositivos utilizados			
	Ninguno	Capa 3	Capa 4	Capa 5	Comportamiento de personas	Pronosticar demanda de accesos	Gestión de energía	Inteligencia Artificial	Blockchain	Big Data	Sensores	Actuadores	Medidores	Microcontroladores
1 (Santana et al., 2020)		1			1			1			1			1
2 (Apostolo et al., 2021)	1					1		1			1			
3 (Akhtar et al., 2021)	1						1	1			1			
4 (Bashir et al., 2020)			1		1				1	1	1			1
5 (Kwankajornkeat & Aswakul, 2022)	1						1				1		1	
6 (Rahman et al., 2020)			1				1		1		1			1
7 (Metallidou et al., 2020)			1				1				1	1		
8 (Foroozandeh et al., 2022)	1						1							
9 (Syed et al., 2021)				1			1	1			1			1
10 (Han et al., 2022)			1				1	1			1	1		
11 (Mir et al., 2021)				1			1	1		1	1	1		
12 (Mohammed et al., 2022)				1			1			1	1	1		
13 (Nabavi et al., 2021)			1				1	1						
14 (Ouammi, 2021)			1				1				1	1		
15 (Vahidinasab et al., 2021)			1				1							
16 (Andrade et al., 2021)				1			1	1			1	1	1	1
17 (Guzman et al., 2021)			1				1				1			
18 (Kanthila et al., 2021)			1		1		1				1			
19 (Lee et al., 2022)	1						1				1	1		1
20 (Voss et al., 2021)	1						1				1	1		
21 (Hussain et al., 2021)				1			1				1	1	1	1
22 (Gong et al., 2021)				1			1	1			1	1	1	1
23 (Thanh et al., 2022)				1			1	1			1			
	4	3	9	7	3	1	19	11	1	3	20	11	4	8

Fuente: Generado por autor.

A continuación, se grafica las características con sus cantidades producto de las revisiones en los artículos que aportan al conocimiento sobre IoT en edificaciones.

Los modelos Smart Building se distribuyen en capas para un mejor entendimiento, pero no todos se presentan distribuidos o estructurados en capas, 4 artículos no presentan su distribución en capas, 3 artículos se presentan en tres capas, 9 artículos se presentan en cuatro capas, y 7 artículos se presentan en cinco capas. Ver Figura 2.

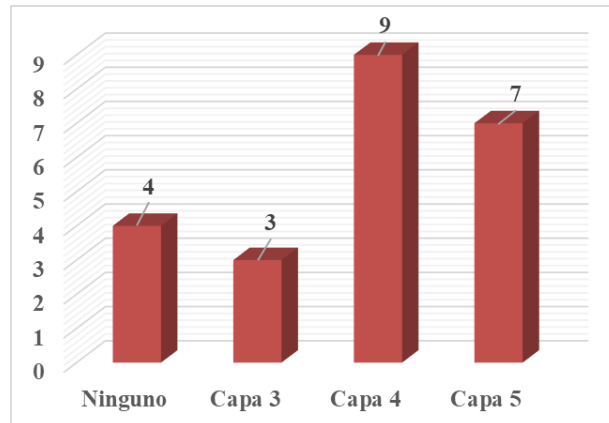


Figura 2. Capas utilizadas en los modelos en Smart Building.

Los 23 modelos Smart Building tienen mayormente como propósito la gestión de energía en 19 artículos, luego le siguen el comportamiento de personas en 3 artículos y el pronóstico de demandas de acceso a puntos de datos en sólo 1 artículo. Ver Figura 3.

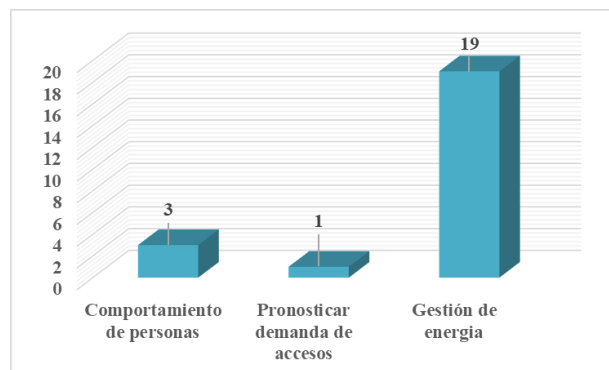


Figura 3. Propósito de los modelos en Smart Building.

En los 23 modelos Smart Building sólo 15 artículos utilizan otras tecnologías para mejorar sus modelos, Inteligencia Artificial es utilizada en 11 artículos junto a IoT, Blockchain es utilizada en un solo artículo, Big Data es utilizada en 3 artículos, ver Figura 4. Además en sólo un artículo utilizan juntos la IA y Big Data. En 9 artículos sólo utilizan la tecnología IoT.

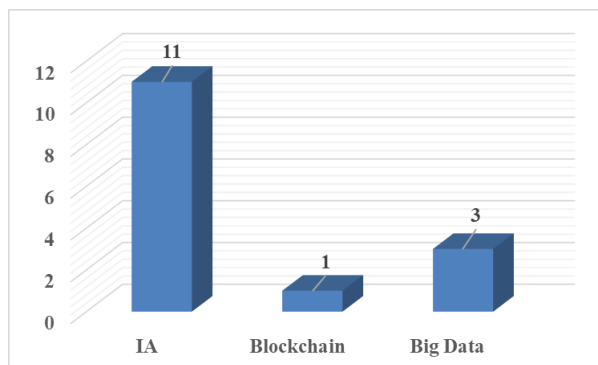


Figura 4. Otras tecnologías utilizadas en los modelos Smart Building.

En los modelos Smart Building se utilizan dispositivos IoT, no todos los artículos detallan los dispositivos que utilizan, en 3 artículos no detallan los dispositivos que utilizan. En 20 artículos se utilizan sensores, en 11 artículos se utilizan actuadores, en 4 artículos utilizan medidores de energía, y en 8 artículos utilizan microcontroladores. Además en 3 artículos utilizan los cuatro componentes, en 11 artículos utilizan juntos los sensores y actuadores.

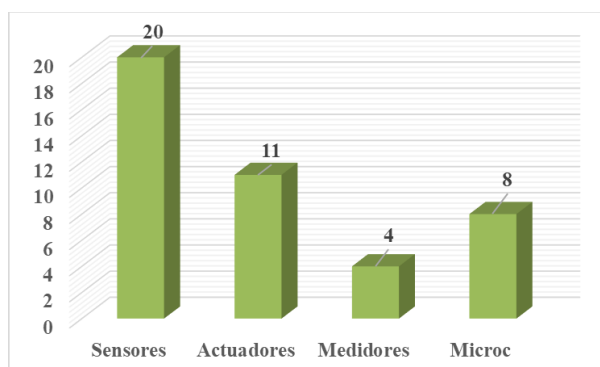


Figura 5. Dispositivos utilizados en los modelos Smart Building.

4.2. R2: Diseño de una arquitectura lógica para captura y procesamiento de datos en un edificio privado comercial de la ciudad de Guayaquil basada en IoT estándar IEEE 1451-99

La arquitectura que se propone es para gestionar los datos que se generan en un edificio y capturar los datos en escenarios interiores y exteriores de modo inteligente; el diseño se basa en un enfoque de cinco capas, el diseño se propone de manera independiente a la implementación, esta investigación solo abarca el diseño y no prototipo ni implementación, a continuación se describe el detalle de cada nivel.

Nivel Dispositivo, está destinado a sensores para edificios como: calidad del aire, movimiento de personas, radiación solar, humedad, monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre, dióxido de carbono; además pueden existir actuadores y microcontroladores como arduino o raspberry. Los dispositivos IoT tienen capacidad de capturar datos técnicos del edificio, conectados a la red inalámbrica, comunicación bidireccional, comunicación con Internet, obtener mediciones, captura remota y captura automática de los datos.

Nivel Red, está destinado a dispositivos de comunicación de red como puntos de acceso inalámbricos, router inalámbrico, router alámbrico, switch, antenas, fibra óptica, entre otros. Este nivel tiene capacidad de red que contiene actividades de control de la conectividad en red, como control de acceso, control de transporte, gestión en autenticación, servicio de movilidad, servicio de autorización. Además tiene la capacidad de transporte como gestionar la conectividad para el transporte de datos generales, envío de información de control y servicios relacionados al IoT.

Nivel Nube, está destinado a contener componentes para almacenamiento y procesamiento de datos, los componentes como servidor de IoT, espacio para almacenamiento, programas de procesamiento, programas de validaciones. Para almacenamiento de datos se recomienda se utiliza HDFS distribuido Hadoop que aprovecha el sistema de archivos distribuido con buen rendimiento sobre la información en clústeres de Hadoop que son escalables. Otra herramienta recomendada es Apache Flume que realiza la distribución confiable que recolecta, adiciona y transporta magnas cantidades de datos como colecciones de registro y eventos de IoT desde varios orígenes diferentes hacia un repositorio de datos centralizado; además es tolerante a fallas y robusto ante recuperaciones para los datos extensibles. Los datos generados por los sensores almacenados en HDFS se pueden examinar con Apache Spark por su rápido motor de procesamiento.

Nivel Aplicaciones, está destinado a contener los sistemas o aplicaciones informáticas para presentación de los datos y programas de control. En este nivel para la ver los datos capturados por los sensores y que se encuentran almacenados en HDFS, se recomienda utiliza Microsoft Power BI que logra conectarse y extraer la data desde HDFS, Power BI genera tableros y gráficos, genera estáticas de los sensores de IoT que se actualizan en tiempo real y lograr una vista sobre el entorno del edificio. Esto ayuda a ver posibles problemas y tomar las medidas preventivas.

Nivel Usuarios, se encuentran los perfiles de usuarios para gestión de la información, los perfiles definidos son administrador de aplicaciones, administrador de edificio y usuarios.

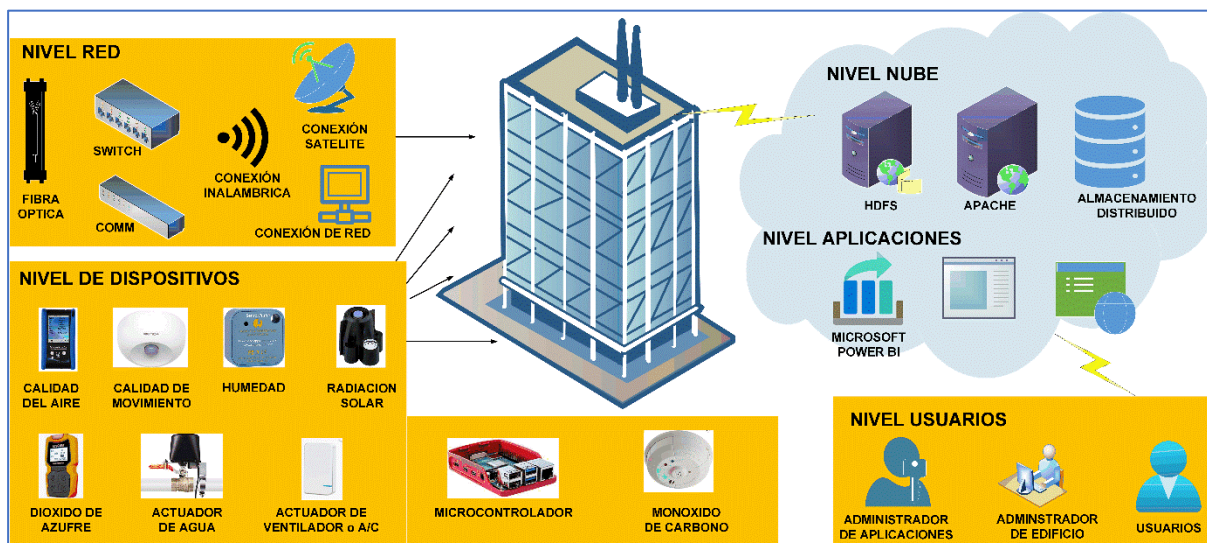


Figura 6. Arquitectura lógica.

Aplicación del estándar IEEE 1451-99

El estándar IEEE 1451-99 puntualiza un método para el intercambio de datos, la interoperabilidad y la seguridad de los mensajes a través de una red; entonces los dispositivos como sensores, actuadores y otros pueden interoperar, independiente de la tecnología que se utilice. La lógica de la red escalable, interoperable y segura a nivel general se basa en el XMPP (eXtensible Messaging and Presence Protocol) y en los elementos de la infraestructura, o interfaces como CoAP (Constrained Application Protocol), HTTP (Hypertext Transfer Protocol), MQTT (Message Queuing Telemetry Transport Protocol), AMQP (Advanced Message Queuing Protocol), entre otros. IEEE 1451-99 utiliza las capacidades avanzadas de XMPP tales como: generación de identidades autenticadas, autorizaciones, presencia del dispositivo, administración del ciclo de vida, comunicación interoperable y develamiento de IoT. Se anota que este estándar no desarrolla interfaces de aplicaciones/sistemas para IoT. El propósito de IEEE 1451-99 es “definir un puente de metadatos para facilitar el transporte del protocolo IoT para sensores, actuadores y dispositivos” (IEEE-Estandar 1451, 2022). La tabla 3 revela los dispositivos de sensores y actuadores utilizados en la arquitectura lógica en conjunto con los protocolos que utilizan.

Tabla 3. Dispositivos que consideran IEEE 1451-99

Indicadores	XMPP	CoAP	HTTP	MQTT	AMQP	LoRa
Calidad del aire	x		x			
Movimiento de personas	x		x			x
Radiación solar			x	x		
Humedad	x		x			
Monóxido de carbono	x		x			
Dióxido de nitrógeno			x	x		
Dióxido de azufre			x	x		
Dióxido de carbono			x	x		
Actuadores	x					
Microcontroladores	x					

Fuente: Generado por autor.

De acuerdo a las revisiones de los sensores: soportan el protocolo XMPP los sensores de calidad de aire, movimiento de personas, humedad, monóxido de carbono, los actuadores y microcontroladores; soportan el protocolo HTTP los sensores de calidad del aire, movimiento de personas, radiación solar, humedad, monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre y dióxido de carbono; soportan el protocolo MQTT los sensores radiación solar, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre y dióxido de carbono; y el sensor de movimiento de personas soporta el protocolo LoRa.

4.3. R3: Validación de la arquitectura lógica para fiscalización y aprobación mediante el estándar IEEE P2413

El estándar P2413 es un framework que se aplica a arquitecturas IoT, se utiliza principalmente en ciudades inteligentes y redes eléctricas, tiene como iniciativa la interacción entre dominios, además de las representaciones del dominio IoT que se propone, también la interoperabilidad entre los dominios induce a aumentar la compatibilidad en una ciudad inteligente; los parámetros de este framework ayudan a tener puntos en común entre distintos dominios IoT y genera instancias de arquitecturas IoT más seguras y estables.

Se aplica el framework del estándar P2413 sobre la arquitectura IoT en un edificio privado que se propone en esta investigación para fiscalizar y aprobar mediante los parámetros que indica el estándar, y el Valor es lo que aplica la arquitectura en un edificio privado, ver tabla 4.

Tabla 4. Parámetros de cumplimiento IEEE P2413

Parámetro	Valor
Dominio	Edificios
Aplica capa de dispositivos	Si
Aplica capa de red de comunicación	Si
Aplica capa de plataforma	Si
Aplica capa de aplicaciones	Si
Aplica Cloud Computing	Si
Aplica Edge Computing	No
Aplica Big Data	No
Visualiza el estado operativo	Si
Colaboración entre aplicaciones	Si
Model Kind	Se utiliza diagramas de bloque
Architecture viewpoint	Bienestar y comodidad para los habitantes y usuarios generales del edificio mediante la información generada por los sensores
Concern	El interés es información en tiempo real
Stakeholder	Constructores y administradores de edificios
Correspondence rule	

Fuente: Generado por autor.

Sobre los 9 parámetros, solo 2 no se aplican, es decir el 22.22% de los parámetros no se utiliza en nuestra arquitectura. Los últimos 5 parámetros son descriptivos y presentan otros puntos claves que la arquitectura utiliza en el diseño.

Nuestra arquitectura IoT no aplica Edge Computing porque no está entre los objetivos específicos el utilizar procesos perimetrales ni optimizar tiempos de respuesta; no se aplica Big Data porque no es un objetivo recolectar grandes cantidades de información para procesamiento ni generar indicadores.

5. DISCUSIÓN

El diseño de una arquitectura lógica es escalable porque permite extenderse de acuerdo a las necesidades o dimensiones de un edificio, y es adaptable porque las posibles implementaciones pueden ser diferentes a las nombradas en este artículo. Se representó un modelo estructurado en capas, cada capa es responsable de una función específica que incluye distintas funciones en la arquitectura y es posible concuerden en mejorar la adaptabilidad y la escalabilidad. En este diseño general no se describen precios de sensores ni dispositivos ni instalaciones u otros costos relacionados.

El estándar P2413 es utilizado como un marco arquitectónico y se aplica a la arquitectura que se propone en esta investigación, de acuerdo a la lectura realizada P2413 aún está en evolución para apoyar las iniciativas IoT, porque este estándar es para comunidad abierta y mantener interconectado al mundo.

El estándar 1451-99 es utilizado para asegurar la “interoperabilidad y la seguridad durante el envío de datos a través de una red IoT”, para que los sensores operen sin complicaciones en la comunicación. No todos los sensores o dispositivos utilizan el mismo protocolo de comunicación XMPP, pero si es posible utilizar los dispositivos porque se basan en algún protocolo de seguridad.

Aunque el diseño de una arquitectura IoT es importante en la gestión de datos, además se mejora el enfoque técnico y económico, IoT aún mantiene desafíos y limitaciones, la seguridad y privacidad de los ocupantes de un edificio son desafíos para superar soluciones como minimizar el uso de energía eléctrica, la mayoría de las referencias dirigen sus esfuerzos a optimizar o generar energía.

6. CONCLUSIÓN

La literatura científica demuestra que IoT mejora la eficiencia en los edificios, aunque también depende de la cantidad de personas que ocupan la estructura, y esto tiene un impacto en el desempeño y consumo; IoT trata de mantener un confort apropiado de acuerdo a los parámetros de electricidad, agua, calidad del aire, entre otros, y que activan los actuadores.

La obtención de datos de un edificio es más sencillo con la aplicación de tecnología IoT, aunque el comportamiento humano puede ayudar a mejorar o degradar la eficiencia de un edificio, y para esto sería necesario el análisis de los datos sobre ese comportamiento.

Las construcciones de tipo vertical son más numerosas e IoT es una alternativa para gestionar los recursos de manera inteligente, tomar decisiones y ejecutar acciones de manera controlada; el diseño y la valoración de acuerdo a la situación de cada edificio ayudan en el monitoreo para optimizar recursos y confort para las personas.

REFERENCIAS

- Akhtar, I., Kirmani, S., Suhail, M., & Jameel, M. (2021). Advanced Fuzzy-Based Smart Energy Auditing Scheme for Smart Building Environment with Solar Integrated Systems. *IEEE Access*, 9, 97718–97728. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3095413>
- Andrade, S. H. M. S., Contente, G. O., Rodrigues, L. B., Lima, L. X., Vijaykumar, N. L., & Frances, C. R. L. (2021). A Smart Home Architecture for Smart Energy Consumption in a Residence with Multiple Users. *IEEE Access*, 9, 16807–16824. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3051937>
- Apostolo, G. H., Bernardini, F., Magalhaes, L. C. S., & Muchaluat-Saade, D. C. (2021). A unified methodology to predict Wi-Fi network usage in smart buildings. *IEEE Access*, 9, 11455–11469. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3048891>
- Bashir, M. R., Gill, A. Q., Beydoun, G., & McCusker, B. (2020). Big data management and analytics metamodel for IoT-enabled smart buildings. *IEEE Access*, 8, 169740–169758. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3024066>
- Foroozandeh, Z., Ramos, S., Soares, J., & Vale, Z. (2022). Goal Programming Approach for Energy Management of Smart Building. *IEEE Access*, 10, 25341–25348. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3153341>
- Gong, H., Rallabandi, V., McIntyre, M. L., Hossain, E., & Ionel, D. M. (2021). Peak reduction and long term load forecasting for large residential communities including smart homes with energy storage. *IEEE Access*, 9, 19345–19355. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3052994>
- Guzman, C. P., Arias, N. B., Franco, J. F., Soares, J., Vale, Z., & Romero, R. (2021). Boosting the Usage of Green Energy for EV Charging in Smart Buildings Managed by an Aggregator through a Novel Renewable Usage Index. *IEEE Access*, 9, 105357–105368. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3099426>
- Han, X., Zhang, C., Tang, Y., & Ye, Y. (2022). Physical-data Fusion Modeling Method for Energy Consumption Analysis of Smart Building. *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, 10(2), 482–491. <https://doi.org/10.35833/MPCE.2021.000050>
- Hussain, S., El-Bayeh, C. Z., Lai, C., & Eicker, U. (2021). Multi-Level Energy Management Systems Toward a Smarter Grid: A Review. *IEEE Access*, 9, 71994–72016. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3078082>
- IEEE-Estandar 1451. (2022). *Estandar 1451*. <https://standards.ieee.org/ieee/1451.99/10355/>
- IEEE-Standar 2413. (2022). *Estandar 2413*. <https://standards.ieee.org/ieee/2413/6226/>
- Kanthila, C., Boodi, A., Beddiar, K., Amirat, Y., & Benbouzid, M. (2021). Building Occupancy Behavior and Prediction Methods: A Critical Review and Challenging Locks. *IEEE Access*, 9, 79353–79372. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3083534>
- Kwankajornkeat, S., & Aswakul, C. (2022). Differential Private Motion Sensor and Wasted Energy in Building Energy Management System. *IEEE Access*, 10, 486–501. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3138401>
- Lee, C. Te, Chen, L. B., Chu, H. M., & Hsieh, C. J. (2022). Design and Implementation of a Leader-Follower Smart Office Lighting Control System Based on IoT Technology. *IEEE Access*, 10, 28066–28079. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3158494>
- Metallidou, C. K., Psannis, K. E., & Egyptiadou, E. A. (2020). Energy Efficiency in Smart Buildings: IoT Approaches. *IEEE Access*, 8, 63679–63699. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2984461>

- Mir, U., Abbasi, U., Mir, T., Kanwal, S., & Alamri, S. (2021). Energy Management in Smart Buildings and Homes: Current Approaches, a Hypothetical Solution, and Open Issues and Challenges. *IEEE Access*, 9, 94132–94148. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3092304>
- Mohammed, B. H., Sallehudin, H., Mohamed, S. A., Satar, N. S. M., & Hussain, A. H. Bin. (2022). Internet of Things-Building Information Modeling Integration: Attacks, Challenges, and Countermeasures. *IEEE Access*, 10(July), 74508–74522. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3190357>
- Nabavi, S. A., Motlagh, N. H., Zaidan, M. A., Aslani, A., & Zakeri, B. (2021). Deep Learning in Energy Modeling: Application in Smart Buildings with Distributed Energy Generation. *IEEE Access*, 9, 125439–125461. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3110960>
- Nations, U. (2020). *Department of Economic and Social Affairs Population Dynamics*. <https://population.un.org/wup/Publications/>
- Ouammi, A. (2021). Peak Loads Shaving in a Team of Cooperating Smart Buildings Powered Solar PV-Based Microgrids. *IEEE Access*, 9, 24629–24636. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3057458>
- Rahman, A., Nasir, M. K., Rahman, Z., Mosavi, A., Shahab, S., & Minaei-Bidgoli, B. (2020). DistBlockBuilding: A Distributed Blockchain-Based SDN-IoT Network for Smart Building Management. *IEEE Access*, 8, 140008–140018. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3012435>
- Santana, J. R., Sanchez, L., Sotres, P., Lanza, J., Llorente, T., & Munoz, L. (2020). A Privacy-Aware Crowd Management System for Smart Cities and Smart Buildings. *IEEE Access*, 8, 135394–135405. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3010609>
- Syed, D., Abu-Rub, H., Ghayeb, A., & Refaat, S. S. (2021). Household-Level Energy Forecasting in Smart Buildings Using a Novel Hybrid Deep Learning Model. *IEEE Access*, 9, 33498–33511. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3061370>
- Thanh, P. N., Cho, M. Y., Chang, C. L., & Chen, M. J. (2022). Short-Term Three-Phase Load Prediction with Advanced Metering Infrastructure Data in Smart Solar Microgrid Based Convolution Neural Network Bidirectional Gated Recurrent Unit. *IEEE Access*, 10(April), 68686–68699. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3185747>
- Vahidinasab, V., Ardalan, C., Mohammadi-Ivatloo, B., Giaouris, D., & Walker, S. L. (2021). Active Building as an Energy System: Concept, Challenges, and Outlook. *IEEE Access*, 9, 58009–58024. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3073087>
- Voss, M., Heinekamp, J. F., Krutzsch, S., Sick, F., Albayrak, S., & Strunz, K. (2021). Generalized Additive Modeling of Building Inertia Thermal Energy Storage for Integration into Smart Grid Control. *IEEE Access*, 9, 71699–71711. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3078802>