
Diseño y construcción de un tablero didáctico de instalaciones eléctricas residenciales con enfoque domótico y monitoreo de parámetros energéticos para la iniciativa académica de Instalaciones Eléctricas

Karla Michelle López Castañeda



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



Diseño y construcción de un tablero didáctico de instalaciones eléctricas residenciales con enfoque domótico y monitoreo de parámetros energéticos para la iniciativa académica de Instalaciones Eléctricas


Trabajo de graduación presentado por Karla Michelle López Castañeda para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería Mecatrónica

Guatemala,

2025

Vo.Bo.:

(f) 
MBA Pedro Castillo

(f) 
M.Sc. Carlos Esquit

Fecha de aprobación: Guatemala, 20 de noviembre de 2025.

Índice de figuras	v
Índice de cuadros	vi
Resumen	vii
Abstract	viii
1. Introducción	1
2. Antecedentes	2
2.1. Diseño e implementación de un módulo didáctico para instalaciones eléctricas residenciales	2
2.2. Casa didáctica para instalaciones y verificaciones eléctricas Mod. CD/EV . . .	3
2.3. Siemens Xcelerator: plataforma digital que acelera la transformación de los hospitales	4
3. Justificación	6
4. Objetivos	7
4.1. Objetivo general	7
4.2. Objetivos específicos	7
5. Definición del problema	8
6. Marco teórico	9
6.1. Instalaciones eléctricas residenciales	9
6.1.1. Balanceo de cargas	10
6.1.2. Circuitos de iluminación	11
6.1.3. Circuitos de fuerza	11
6.2. Normativas NEC	12
6.2.1. Calibre del conductor	12
6.2.2. Código de color	16
6.2.3. Diámetro de tubería	17

6.2.4.	Protección contra sobre corriente	17
6.2.5.	Sistemas de puesta a tierra	18
6.3.	Domótica	18
6.3.1.	Beneficios de la domótica	18
6.3.2.	Integración con sistemas eléctricos residenciales	19
6.3.3.	Protocolo de comunicación Zigbee	19
6.3.4.	Características principales	19
6.3.5.	Arquitectura de red Zigbee	19
6.3.6.	Zigbee en Aplicaciones de domótica	20
7.	Competencias a desarrollar	21
8.	Metodología	23
8.1.	Definición del diseño inicial	23
8.2.	Diseño eléctrico y diseño CAD del tablero	23
8.3.	Selección y adquisición de materiales	24
8.4.	Construcción y ensamblaje del tablero	25
8.5.	Implementación del sistema de monitoreo energético	25
8.6.	Elaboración de la guía teórica y práctica	25
8.7.	Pruebas y ajustes	26
9.	Diseño experimental	27
9.1.	Introducción	27
9.2.	Selección de componentes	27
9.3.	Diseño 3D en Inventor	28
9.4.	Plano de cableado	30
9.5.	Ejecución del presupuesto y cálculo de cableado	31
9.5.1.	Ejecución del presupuesto	31
9.5.2.	Procedimiento de cálculo de cantidad de cableado	33
9.6.	Construcción y ensamblaje del tablero	35
9.7.	Instalación y configuración del sistema de monitoreo energético	39
9.8.	Pruebas: integración domótica	40
9.9.	Resultados	40
9.10.	Discusión de resultados	41
10.	Conclusiones	43
11.	Recomendaciones	44
12.	Referencias	45
13.	Anexos	48

Índice de figuras

1.	Módulo didáctico para instalaciones eléctricas residenciales	3
2.	Casa didáctica para instalaciones y verificaciones eléctricas	4
3.	Plataforma digital Siemens Xcelerator	5
4.	Esquema de elementos de un circuito eléctrico	10
5.	Esquema de suministro dividido	10
6.	Mapa de uso de normativa NEC	12
7.	Esquema de tipologías y arquitectura de red Zigbee	20
8.	Diagrama de bloques de lógica de funcionamiento	24
9.	Vista isométrica del modelo 3D del panel en Autodesk Inventor	29
10.	Vista trasera del modelo 3D del panel en Autodesk Inventor	29
11.	Vista frontal del modelo 3D del panel en Autodesk Inventor	30
12.	Plano esquemático de cableado eléctrico del panel didáctico	31
13.	Base del tablero	36
14.	Corte de base de madera del tablero	37
15.	Sistema de tuberías del tablero	37
16.	Tendido del cableado	38
17.	Pruebas de funcionamiento del tablero	39
18.	Vista frontal del ensamblaje explosionado del tablero didáctico	48
19.	Vista trasera del ensamblaje explosionado del tablero didáctico	49

Índice de cuadros

1.	Calibres de conductores de American Wire Gauge [11]	13
2.	Tipos de aislamiento según temperatura y material conductor	14
3.	Ampacidades permisibles de conductores aislados, según NEC 310.16 (hasta 2000 V)	15
4.	Factores de corrección por temperatura ambiente distinta a 30 °C	15
5.	Protección máxima contra sobrecorriente de conductores pequeños de cobre según el NEC® Sección 240.4(D)	16
6.	Máximo número de conductores en tubería, según el NEC	17
7.	Competencia 1	21
8.	Competencia 2	22
9.	Competencia 3	22
10.	Resumen de materiales y presupuesto del panel	32
11.	Compras internacionales	33
12.	Resumen de materiales y presupuesto del panel	33
13.	Detalle de tramos de cableado, número de conductores y puntas por caja	34
14.	Factores adicionales y total de cable calculado	34
15.	Totales y cálculos aplicados al cableado	35

Se diseñó y construyó un tablero didáctico de instalaciones eléctricas residenciales con la integración de sistemas domóticos y un módulo de monitoreo energético, como herramienta de apoyo para la iniciativa académica de Instalaciones Eléctricas de la Universidad del Valle de Guatemala. El proyecto incluyó el diseño del diagrama eléctrico en sus variantes tradicional y domótica, el modelado CAD de la estructura y distribución de componentes, y la implementación de un sistema de medición capaz de registrar y visualizar parámetros de consumo en un panel central. Durante la construcción, se verificó la correcta operación de los circuitos, la vinculación de los dispositivos domóticos mediante *wifi* y Zigbee, y la estabilidad del sistema de medición. Los resultados demostraron que el tablero cumple con los objetivos propuestos y constituye una herramienta funcional, contribuyendo al aprendizaje práctico de los estudiantes.

A didactic residential electrical installation board was designed and built with the integration of home automation systems and an energy monitoring module, intended as an educational tool for the Electrical Installations academic initiative at Universidad del Valle de Guatemala. The project included the design of the electrical diagram in both traditional and automated configurations, the CAD modeling of the structure and component distribution, and the implementation of a measurement system capable of recording and displaying consumption parameters on a central panel. During construction, the correct operation of the circuits was verified, along with the successful pairing of home automation devices through *wifi* and Zigbee, and the stable performance of the monitoring system. The results demonstrate that the board meets the proposed objectives and serves as a functional tool, enhancing students' hands-on learning experience.

CAPÍTULO 1

Introducción

El desarrollo tecnológico y la creciente automatización de los entornos residenciales e industriales han impulsado la incorporación de sistemas domóticos como parte esencial de la formación técnica y profesional en ingeniería. En este contexto, surge la necesidad de contar con herramientas didácticas que permitan a los estudiantes experimentar con instalaciones eléctricas reales y comprender el funcionamiento de tecnologías modernas de control y monitoreo energético.

El proyecto tiene como finalidad fortalecer el proceso de aprendizaje dentro de la iniciativa académica de Instalaciones Eléctricas de la Universidad del Valle de Guatemala. Este tablero permitirá realizar prácticas seguras y controladas, integrando tecnologías de automatización, sensores de medición de consumo y software de monitoreo en tiempo real.

A través de este desarrollo, se busca optimizar el uso de recursos, mejorar la seguridad en las prácticas y fortalecer las competencias técnicas del alumnado mediante la observación y ejemplificación de sistemas eléctricos, brindando una experiencia educativa alineada con las demandas actuales del sector eléctrico y de automatización.

El presente documento describe el proceso completo del proyecto, incluyendo la etapa de diseño, la selección de componentes y materiales, la construcción e implementación del sistema, así como las pruebas de funcionamiento y los resultados obtenidos. Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones derivadas de la ejecución del proyecto.

En la formación académica de áreas como la ingeniería es común ver un interés en el uso de herramientas que ayuden a desarrollar las habilidades prácticas de los estudiantes, con el fin de complementar de manera más completa los conceptos teóricos previamente estudiados. La implementación de estas herramientas no es algo nuevo, ya que se han desarrollado diversas plataformas de aprendizaje que buscan responder a las necesidades de los cursos, ya sea para optimizar el proceso de implementación de sistemas que, físicamente, requieren mucho tiempo de elaboración o para facilitar la visualización de fenómenos que resultan difíciles de comprender solamente de forma teórica. En los últimos años, además, se ha observado una tendencia hacia la incorporación de sistemas de monitoreo energético dentro de entornos académicos, como una extensión del aprendizaje práctico. Esto permite que los estudiantes comprendan el impacto real del consumo eléctrico y la importancia de optimizar los recursos, fomentando una cultura de eficiencia energética desde el ámbito educativo.

2.1. Diseño e implementación de un módulo didáctico para instalaciones eléctricas residenciales

En la Universidad Politécnica Salesiana de Ecuador se desarrolló un trabajo de titulación que consistió en la construcción de un sistema interactivo que permite simular distintos escenarios de conexión eléctrica, incorporando interruptores de 3 y 4 vías, interruptores simples y dobles, sensores de movimiento, dimmers, diferentes luminarias, tomacorrientes, un PLC LOGO Siemens V8 y un router TP-Link (Figura 1). Estos elementos fueron ensamblados en módulos desmontables según la práctica que se desee realizar. El PLC LOGO se utilizó para la automatización de los diferentes circuitos eléctricos, mientras que el router TP-Link permitió la comunicación inalámbrica y el control remoto de las luminarias mediante una aplicación móvil. De esta manera, los estudiantes pueden desarrollar prácticas de control de iluminación, alternancia de luminarias y programación de secuencias lógicas. El objetivo principal del trabajo fue proporcionar a los estudiantes un entorno seguro, flexible y cercano a la realidad, que facilite la aplicación de conocimientos teóricos como las normativas

eléctricas y la interpretación de diagramas de conexión y programación en PLC [1].

Figura 1. Módulo didáctico para instalaciones eléctricas residenciales



Nota. Módulo didáctico para instalaciones eléctricas residenciales de la Universidad Politécnica Salesiana de Ecuador

2.2. Casa didáctica para instalaciones y verificaciones eléctricas Mod. CD/EV

Elettronica Veneta es una empresa dedicada al diseño, fabricación e instalación de equipos didácticos orientados a la educación técnica en sectores tecnológicos. Sus productos están dirigidos a programas de enseñanza en institutos profesionales, tecnológicos y universidades. Entre su catálogo se encuentra la Casa didáctica para instalaciones y verificaciones eléctricas Mod. CD/EV (Figura 2), la cual está compuesta por una estructura modular que integra conductores, tomacorrientes, puntos de iluminación, interruptores y paneles de distribución eléctrica completamente cableados y operativos.

Este módulo permite realizar diversas prácticas de diagnóstico eléctrico, tales como mediciones de aislamiento, caídas de tensión, pruebas de continuidad y verificación de dispositivos de protección en circuitos ya cableados y funcionales. Además, ofrece la posibilidad de efectuar modificaciones en las conexiones según las necesidades del instructor, facilitando que el estudiante configure y pruebe diferentes escenarios eléctricos de manera segura y controlada.

Entre los sistemas implementados se incluyen la distribución de iluminación con control mediante interruptores de dos y tres vías, un sistema de medición de energía de campo electromagnético (EMF) con contador de kWh, un sistema de intercomunicación (interfono) para la simulación de comunicación interna, sistemas de puesta a tierra y equipotencialidad, distribución telefónica y de antena de TV, así como sistemas de alarma de gas, CO y antirobo [2].

Figura 2. Casa didáctica para instalaciones y verificaciones eléctricas



Nota. Casa didáctica para instalaciones y verificaciones eléctricas Mod. CD/EV de Elettronica Veneta

2.3. Siemens Xcelerator: plataforma digital que acelera la transformación de los hospitales

La plataforma digital Siemens Xcelerator se presenta como una iniciativa integral de Siemens orientada a impulsar la transformación digital en diversos sectores industriales. Más que una aplicación o producto específico, Xcelerator constituye un ecosistema de negocios que reúne distintas herramientas tecnológicas desarrolladas por la compañía para mejorar la eficiencia y conectividad de los sistemas industriales. Este ecosistema integra tres componentes principales: el *hardware*, conformado por equipos inteligentes, sensores, controladores y sistemas eléctricos o de automatización compatibles con el *Internet of things* (IoT); el *software*, que incluye aplicaciones industriales como Desigo CC, Simcenter, Teamcenter y TIA Portal; y los servicios en la nube, los cuales permiten conectar y analizar la información proveniente de los dispositivos físicos para optimizar procesos, mantenimiento y eficiencia energética. En síntesis, Siemens Xcelerator actúa como un puente entre el mundo físico (máquinas, motores, sensores) y el mundo digital (datos, análisis, control y optimización), posibilitando la supervisión de parámetros como el consumo eléctrico o hídrico, la detección de fallos en equipos eléctricos o mecánicos, la automatización de sistemas de climatización e

iluminación, y la reducción de costos mediante el análisis predictivo y el control remoto [3].

Figura 3. Plataforma digital Siemens Xcelerator



Nota. Plataforma digital que integra elementos clave como un portafolio modular de software y hardware IoT, un ecosistema de socios certificados que impulsan la innovación y un marketplace para explorar, aprender e intercambiar soluciones.

Actualmente, la Universidad del Valle de Guatemala requiere herramientas didácticas que fortalezcan las habilidades prácticas de los estudiantes en el área de Instalaciones Eléctricas. La iniciativa académica de esta asignatura busca que los alumnos no solo comprendan los conceptos teóricos, sino que también adquieran experiencia en el diseño, implementación y evaluación de sistemas eléctricos reales. Sin embargo, el número limitado de horarios en los laboratorios restringe el tiempo de práctica, lo que dificulta el desarrollo pleno de las competencias esperadas.

Ante esta situación, surge la necesidad de diseñar y construir un tablero didáctico que permita simular instalaciones eléctricas residenciales con monitoreo de parámetros energéticos. Este dispositivo proporcionará un entorno seguro y controlado, en el cual los estudiantes podrán realizar mediciones y analizar variables como voltaje, corriente, potencia y consumo energético, favoreciendo la comprensión del comportamiento real de los sistemas eléctricos.

Asimismo, la incorporación de dispositivos domóticos en el tablero permitirá que los estudiantes se familiaricen con las tecnologías modernas de automatización residencial. Este conocimiento resulta fundamental, ya que la domótica constituye una tendencia creciente en la industria eléctrica e integra conceptos de eficiencia energética, control remoto y optimización de recursos. Mediante la experimentación con estos dispositivos, los estudiantes podrán comprender cómo se gestionan y monitorean los sistemas eléctricos inteligentes, ampliando sus competencias hacia aplicaciones residenciales e industriales.

De esta manera, el desarrollo del tablero no solo responde a una necesidad académica, sino que también se convierte en una herramienta de apoyo para la enseñanza activa, permitiendo que los estudiantes integren conocimientos teóricos con la experimentación directa.

4.1. Objetivo general

Diseñar y construir un tablero didáctico de instalaciones eléctricas residenciales con la implementación de sistemas domóticos y monitoreo de parámetros energéticos, para la iniciativa académica de Instalaciones Eléctricas en la Universidad del Valle de Guatemala.

4.2. Objetivos específicos

- Diseñar el diagrama eléctrico del tablero con un sistemas tradicional residencial y un sistema con implementación de sistemas domóticos.
- Implementar el software de visualización del monitoreo de parámetros energéticos a través del panel central, con los valores de consumo eléctrico.
- Realizar el diseño CAD del tablero con la distribución de los dispositivos ensamblados y tubería.
- Construir el tablero físico con los dispositivos eléctricos y el sistema de medición de consumo eléctrico.

Definición del problema

El presente proyecto abarca el diseño y construcción de un sistema experimental didáctico enfocado en las instalaciones eléctricas residenciales, con el propósito de fortalecer el aprendizaje práctico de los estudiantes de la Universidad del Valle de Guatemala. El sistema permitirá observar conexión y monitoreo de diferentes componentes eléctricos, tales como dispositivos de protección, control, medición y consumo, integrados en un entorno seguro, ordenado y de fácil alcance. Además, incorporará un sistema de monitoreo digital que facilitará la observación y registro de parámetros eléctricos, lo cual contribuye a una comprensión más profunda de los principios de eficiencia y seguridad eléctrica.

Asimismo, se contempla la integración de dispositivos domóticos básicos, con el fin de introducir a los estudiantes en el uso y programación de tecnologías modernas aplicadas a la automatización residencial como lo son sensores de proximidad, cámaras de vigilancia, control remoto de la iluminación entre otros. Este componente permitirá analizar la interacción entre los sistemas tradicionales de instalación eléctrica y los nuevos sistemas inteligentes de control, alineándose con las tendencias actuales de la industria.

El alcance del proyecto se limita al ámbito académico, siendo su principal objetivo servir como herramienta de apoyo para cursos de Instalaciones Eléctricas. Por tanto, no se contempla su aplicación directa en entornos industriales o comerciales, aunque su diseño modular permitirá futuras ampliaciones. El resultado final será un tablero funcional, seguro y reutilizable, que podrá emplearse en distintos ejercicios experimentales y prácticas académicas.

6.1. Instalaciones eléctricas residenciales

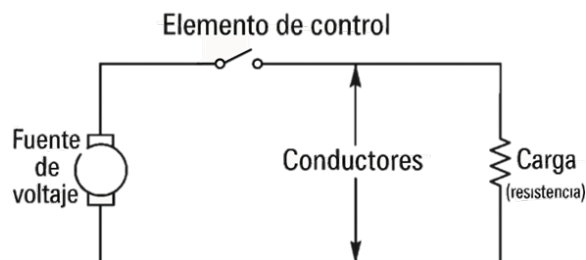
Una instalación eléctrica residencial es la integración de sistemas e interconexiones realizadas con un conjunto de elementos y dispositivos específicos, con el fin de transportar y distribuir energía eléctrica desde el punto de suministro hasta cada uno de los aparatos eléctricos y electrónicos en una casa habitacional. Entre los principales dispositivos que están en las instalaciones eléctricas residenciales se encuentran: tableros de distribución, interruptores, sensores, luminarias, tomacorrientes, tomas especiales, sistemas de alarma, sistemas de video, control de accesos, entre otros [4].

Toda instalación eléctrica residencial, sin importar la complejidad o tamaño, requiere de cuatro elementos fundamentales para un correcto funcionamiento [5]:

- Fuente de energía eléctrica: esta normalmente proviene de la red de distribución eléctrica que proporciona la tensión necesaria para que circule la corriente a través de los diferentes dispositivos conectados en la vivienda.
- Conductores eléctricos: el cableado o alambrado eléctrico son los encargados del transporte seguro y eficiente de la corriente eléctrica desde la fuente hasta los diferentes puntos de consumo dentro del inmueble.
- La carga: esta se refiere a los dispositivos eléctricos y electrónicos (como focos, refrigeradores, televisores, etc.) que utilizan la energía eléctrica para operar.
- Elementos de control: se refiere a los interruptores, que permite conectar o desconectar el flujo de electricidad, para lograr el control en el uso del sistema.

Además de estos 4 elementos fundamentales para el funcionamiento básico de un circuito eléctrico (Figura 4), las instalaciones eléctricas en el ámbito residencial incorporan una variedad de componentes adicionales que mejoran la seguridad, eficiencia y funcionalidad

Figura 4. Esquema de elementos de un circuito eléctrico



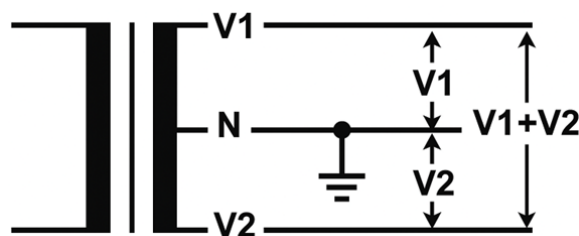
Nota. Los cuatro elementos fundamentales en una instalación eléctrica: fuente, carga, conductores y elemento de control [4].

del sistema. Entre estos se encuentran sistemas de protección, como lo son los interruptores termo magnéticos, diferenciales y fusibles, que previenen daños por sobrecargas o cortocircuitos. También se encuentran los elementos como sensores, temporizadores, dispositivos de automatización y otros elementos que permiten una gestión más inteligente y segura de la energía eléctrica en el hogar.

6.1.1. Balanceo de cargas

En las instalaciones eléctricas residenciales es común un suministro de energía monofásica de 3 hilos, dos conductores activos desfasados entre sí 180° y un neutral. Este sistema de suministro de energía es llamado también de fase dividida. Un transformador que alimenta un sistema de distribución de fase dividida tiene un devanado de entrada (primario) monofásico. El devanado de salida (secundario) tiene una toma central conectada a un neutro puesto a tierra (Figura 5) . La tensión de extremo a centro en cada fase es de 120 v que es la mitad de la entregada de extremo a extremo de 240 v [6].

Figura 5. Esquema de suministro dividido



Nota. Sistema de transformación en suministro de fase dividida con dos líneas de alimentación y un neutral [6].

En estos sistemas es sumamente importante implementar un correcto diseño de distribución de cargas, donde se debe de realizar la sumatoria de las potencias que se instalarán por fase de manera que la potencia total por fase sea similar entre sí (diferencia 10–15 por ciento)[7]. Esto permite una operación más eficiente y segura, donde se considera:

- Capacidad de carga: en un servicio bifásico, el dividir la carga total de la vivienda entre dos líneas activas, evita la sobrecarga en una sola fase. Esto minimiza el riesgo de disparos de los sistemas de protección por exceso de corriente, además, evita el calentamiento de los conductores y conexiones de los sistemas instalados. Al tener menos corriente en cada fase, permite un diseño de la instalación a menor costo, esto al no necesitar conductores de mayor diámetro o sistemas de protección de mayor capacidad.
- Reducción de pérdidas por desbalance: al tener la misma carga en cada fase, las dos corrientes en el neutro se cancelan parcialmente porque están en oposición de fase (180°). Si las cargas son iguales, la corriente neta en el neutro será cero. Por lo tanto, mientras más balanceadas estén las cargas en ambas fases, menor será la corriente que circula por el neutro, reduciendo así calentamiento en el neutral.
- Inestabilidad en el transformador y desequilibrio de tensión: un desequilibrio en las cargas provoca inestabilidad en el transformador, incrementando sus pérdidas y generando desequilibrios en la tensión de salida.

6.1.2. Circuitos de iluminación

El circuito de iluminación es una red eléctrica diseñada específicamente para la alimentación y control de dispositivos lumínicos en una instalación, garantizando condiciones adecuadas de seguridad, eficiencia y operación. Los dispositivos de carga asociados a estos circuitos comprenden luminarias de diversos tipos, como lámparas incandescentes, fluorescentes, LED, focos ahorradores o sistemas electrónicos de iluminación.

Cada luminaria se considera una carga puntual conectada a través de un ramal derivado del circuito de distribución. Estos ramales deben dimensionarse conforme a los criterios establecidos en el Código Eléctrico Nacional (NEC), considerando la caída de tensión permisible, calibre de conductor, capacidad de interrupción, y factor de simultaneidad [8].

El control de encendido y apagado se realiza mediante dispositivos denominados de control, como interruptores unipolares, bipolares o sistemas de conmutación (doble o triple vía), según el tipo de circuito y la configuración del espacio de la vivienda.

6.1.3. Circuitos de fuerza

Un circuito de fuerza derivado general se define como aquel circuito destinado a la alimentación de cargas eléctricas de uso común, distintas a las de iluminación general, que demandan un suministro energético continuo y de mayor potencia. Este tipo de circuitos incluye tomacorrientes distribuidos en recámaras, salas, pasillos, etc.

También existen los circuitos de fuerza de derivado individual, diseñados específicamente para proveer energía de forma dedicada a equipos con alto consumo, como estufas eléctricas, lavadoras, secadoras, hornos, aires acondicionados u otros aparatos que superan los 1.5 kW de potencia instalada.

La diferencia principal entre ambos radica en su aplicación y conexión: los circuitos generales alimentan varios tomacorrientes o dispositivos pequeños, mientras que los individuales se destinan a un solo equipo de gran demanda, con su protección y calibre de conductor acorde a su carga [9].

6.2. Normativas NEC

El Código Eléctrico Nacional (NEC) es un documento de normas estadounidense para el desarrollo seguro de las instalaciones eléctricas en entornos residenciales, comerciales e industriales. Si bien el NEC no es una ley estadounidense, su uso es obligatorio para la aprobación de instalaciones según la ley estatal o local. Este documento también ha sido adoptado por diferentes países como el estándar oficial para las instalaciones eléctricas o también se toma como fundamento principal para el diseño de sus propios códigos eléctricos nacionales (Figura 6) [10].

Figura 6. Mapa de uso de normativa NEC



Nota. Mapa de uso de normativa NEC en Norte América y Centro América (autoría propia).

6.2.1. Calibre del conductor

Un aspecto fundamental para garantizar la seguridad, la eficiencia y cumplimiento normativo de los sistemas eléctricos es el correcto dimensionamiento del calibre de los conductores.

El calibre americano de cable o el American Wire Gauge (AWG) es un sistema estandarizado para medir el diámetro de cables redondos, sólidos, no ferrosos y conductores de electricidad. Cuanto mayor sea el calibre AWG, menor será su sección física. El cuadro 1 muestra los valores de los calibres AWG para cables/conductores eléctricos de cobre. Además, la tabla proporciona valores de capacidad de carga, resistencia y frecuencia máxima.

El National Electrical Code (NEC) establece diversas directrices respecto a los calibres mínimos permitidos, criterios de cálculo, y condiciones específicas que deben considerarse para la selección adecuada de cada conductor.

Cuadro 1. Calibres de conductores de American Wire Gauge [11]

AWG	Diam. (in)	Diam. (mm)	Area (mm ²)	Res. (ohm/1kft)	Res. (ohm/km)	Max I (A)	Max Freq
0000	0.46	11.684	107	0.049	0.16072	302	125 Hz
000	0.4096	10.40384	85	0.0618	0.202704	239	160 Hz
00	0.3648	9.26592	67.4	0.0779	0.255512	190	200 Hz
0	0.3249	8.25246	53.5	0.0983	0.322424	150	250 Hz
1	0.2893	7.34822	42.4	0.1239	0.406392	119	325 Hz
2	0.2576	6.54304	33.6	0.1563	0.512664	94	410 Hz
3	0.2294	5.82676	26.7	0.197	0.64616	75	500 Hz
4	0.2043	5.18922	21.2	0.2485	0.81508	60	650 Hz
5	0.1819	4.62026	16.8	0.3133	1.027624	47	810 Hz
6	0.162	4.1148	13.3	0.3951	1.295928	37	1100 Hz
7	0.1443	3.66522	10.5	0.4982	1.634096	30	1300 Hz
8	0.1285	3.2639	8.37	0.6282	2.060496	24	1650 Hz
9	0.1144	2.90576	6.63	0.7921	2.598088	19	2050 Hz
10	0.1019	2.58826	5.26	0.9989	3.276392	15	2600 Hz
11	0.0907	2.30378	4.17	1.26	4.1328	12	3200 Hz
12	0.0808	2.05232	3.31	1.588	5.20864	9.3	4150 Hz
13	0.072	1.8288	2.62	2.003	6.56984	7.4	5300 Hz
14	0.0641	1.62814	2.08	2.525	8.282	5.9	6700 Hz
15	0.0571	1.45034	1.65	3.184	10.44352	4.7	8250 Hz
16	0.0508	1.29032	1.31	4.016	13.17248	3.7	11 kHz
17	0.0453	1.15062	1.04	5.064	16.60992	2.9	13 kHz
18	0.0403	1.02362	0.823	6.385	20.9428	2.3	17 kHz
19	0.0359	0.91186	0.653	8.051	26.40728	1.8	21 kHz
20	0.032	0.8128	0.518	10.15	33.292	1.5	27 kHz
21	0.0285	0.7239	0.41	12.8	41.984	1.2	33 kHz
22	0.0254	0.64516	0.326	16.14	52.9392	0.92	42 kHz
23	0.0226	0.57404	0.258	20.36	66.7808	0.729	53 kHz
24	0.0201	0.51054	0.205	25.67	84.1976	0.577	68 kHz
25	0.0179	0.45466	0.162	32.37	106.1736	0.457	85 kHz
26	0.0159	0.40386	0.129	40.81	133.8568	0.361	107 kHz
27	0.0142	0.36068	0.102	51.47	168.8216	0.288	130 kHz
28	0.0126	0.32004	0.081	64.9	212.872	0.226	170 kHz
29	0.0113	0.28702	0.0642	81.83	268.4024	0.182	210 kHz
30	0.01	0.254	0.0509	103.2	338.496	0.142	270 kHz

AWG	Dia (in)	Dia (mm)	Area (mm ²)	Res. (ohm/1000ft)	Res. (ohm/km)	Max I (A)	Max Freq
31	0.0089	0.22606	0.0404	130.1	426.728	0.113	340 kHz
32	0.008	0.2032	0.032	164.1	538.248	0.091	430 kHz
33	0.0071	0.18034	0.0254	206.9	678.632	0.072	540 kHz
34	0.0063	0.16002	0.0201	260.9	855.752	0.056	690 kHz
35	0.0056	0.14224	0.016	329	1079.12	0.044	870 kHz
36	0.005	0.127	0.0127	414.8	1360	0.035	1100 kHz
37	0.0045	0.1143	0.01	523.1	1715	0.0289	1350 kHz
38	0.004	0.1016	0.00797	659.6	2163	0.0228	1750 kHz
39	0.0035	0.0889	0.00632	831.8	2728	0.0175	2250 kHz
40	0.0031	0.07874	0.00501	1049	3440	0.0137	2900 kHz

Nota. Cuadro de calibres de conductores AWG, indicando su resistividad, corriente máxima y frecuencia máxima [12].

En la tabla 310.16 del Código NEC se indica que la capacidad de conducción de corriente (ampacidad) depende del tipo de aislamiento, el material del conductor y la temperatura de operación. Además, considera condiciones especiales como el agrupamiento de varios conductores o las altas temperaturas ambientales, las cuales requieren aplicar factores de corrección para garantizar un funcionamiento seguro.

Cuadro 2. Tipos de aislamiento según temperatura y material conductor

Material	Temperatura	Tipos de aislamiento
Cobre	60 °C	TW, UF
Cobre	75 °C	TBS, SA, SIS, THHW, THW, THWN, XHHW, USE, ZW
Cobre	90 °C	FEP, FEPB, MI, RHH, RHW-2, THHN, THHW, THW-2, THWN-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2
Aluminio o Cobre-Clad	60 °C	TW, UF
Aluminio o Cobre-Clad	75 °C	THHW, THW, THWN, XHHW, USE, ZW
Aluminio o Cobre-Clad	90 °C	THHW, THW-2, THWN-2, XHHW-2, USE-2, RHW-2

Nota. Cuadro de capacidades de corriente para conductores de cobre y aluminio (o cobre-clad), evaluadas a tres temperaturas diferentes: 60 °C, 75 °C y 90 °C [13].

Cuadro 3. Ampacidades permisibles de conductores aislados, según NEC 310.16 (hasta 2000 V)

Tamaño (AWG/kcmil)	Cobre			Aluminio o Cobre-Clad		
	60 °C	75 °C	90 °C	60 °C	75 °C	90 °C
14*	20	20	25	—	—	—
12*	25	25	30	20	20	25
10*	30	35	40	25	30	35
8	40	50	55	30	40	45
6	55	65	75	40	50	60
4	70	85	95	55	65	75
3	85	100	110	65	75	85
2	95	115	130	75	90	100
1	110	130	150	85	100	115
1/0	125	150	170	100	120	135
2/0	145	175	195	115	135	150
3/0	165	200	225	130	155	175
4/0	195	230	260	150	180	205
250	215	255	290	170	205	230
300	240	285	320	190	230	255
350	260	310	350	210	250	280
400	280	335	380	225	270	305
500	320	380	430	260	310	350
600	355	420	475	285	340	385
700	385	460	520	310	375	420
750	400	475	535	320	385	435
800	410	490	555	330	395	450
900	435	520	585	355	425	480
1000	455	545	615	375	445	500
1250	495	590	665	405	485	545
1500	520	625	705	435	520	585
1750	545	650	735	455	545	615
2000	560	665	750	470	560	630

Nota. Tabla 310.16 establece la capacidad de conducción de corriente o ampacidad de los conductores en función del tipo de material, aislamiento y temperatura de operación [13].

Cuadro 4. Factores de corrección por temperatura ambiente distinta a 30 °C

Temp. (°C)	Cobre			Aluminio			Temp. (°F)
	60 °C	75 °C	90 °C	60 °C	75 °C	90 °C	
21–25	1.08	1.05	1.04	1.08	1.05	1.04	70–77
26–30	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	78–86
31–35	0.91	0.94	0.96	0.91	0.94	0.96	87–95
36–40	0.82	0.88	0.91	0.82	0.88	0.91	96–104
41–45	0.71	0.82	0.87	0.71	0.82	0.87	105–113
46–50	0.58	0.75	0.82	0.58	0.75	0.82	114–122
51–55	0.41	0.67	0.76	0.41	0.67	0.76	123–131
56–60	—	0.58	0.71	—	0.58	0.71	132–140
61–70	—	0.33	0.58	—	0.33	0.58	141–158
71–80	—	—	0.41	—	—	0.41	159–176

Nota. En la extensión de la tabla 310.16 se considera factores de corrección debido al agrupamiento de conductores o a condiciones de temperatura ambiente elevadas [13].

En instalaciones donde la distancia entre el tablero de distribución y la carga es considerable, la caída de tensión puede volverse significativa, afectando el rendimiento de los equipos y aumentando las pérdidas por calentamiento. Aunque el NEC no establece un valor máximo obligatorio, se recomienda la caída de tensión por debajo del 3 % para circuitos individuales y 5 % en total, como se menciona en la nota informativa del artículo 210.19(A)(1) [14] y otras secciones relacionadas. Para ello, es común seleccionar un conductor de mayor calibre que el mínimo normativo.

La Sección 240.4(D) del NEC [14] se establece la máxima protección contra sobrecorriente para conductores pequeños, después de aplicar el factor de corrección para la temperatura

ambiente y el factor de ajuste para más de tres conductores como se muestra en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Protección máxima contra sobrecorriente de conductores pequeños de cobre según el NEC® Sección 240.4(D)

Tamaño AWG (Cobre)	Corriente máxima (A)	Tipo de circuito típico
18 AWG	7 A	Control, señal, intercomunicadores (uso especial)
16 AWG	10 A	Timbre, alarmas, control de bajo voltaje
14 AWG	15 A	Iluminación general residencial
12 AWG	20 A	Tomacorrientes generales, cocina, lavandería
10 AWG	30 A	Secadora, aire acondicionado, calentador eléctrico

Nota. La selección de la protección máxima contra sobrecorriente para conductores de pequeño calibre se basa en los límites establecidos por el NEC® en la Sección 240.4(D), la cual especifica las capacidades permitidas para estos conductores y sus aplicaciones comunes [14].

También está el *kcmil* que se refiere a una unidad de medida denominada *kilo-circular mil*, equivalente a mil circular mils. Esta unidad se utiliza para especificar el área transversal de conductores de gran calibre, especialmente aquellos que superan el rango del sistema AWG. Mientras que los calibres pequeños y medianos se expresan en AWG, los conductores de mayor capacidad de corriente se clasifican en valores de *kcmil*, tales como 250 kcmil, 350 kcmil o 500 kcmil.

6.2.2. Código de color

El uso de un código de colores facilita la evaluación del cableado eléctrico y garantiza la seguridad tanto para cualquier profesional autorizado como para los propietarios de las viviendas ante cualquier instalación o modificación de los circuitos eléctricos. De acuerdo con el NEC [13], los colores de los conductores se asignan de la siguiente manera:

- **Negro, rojo y azul:** conductores de fase en sistemas monofásicos y trifásicos.
- **Blanco o gris:** conductor neutro, destinado al retorno de corriente.
- **Verde o verde con franjas amarillas:** conductor de puesta a tierra (*ground*).
- **Naranja:** en algunos casos se utiliza para identificar un conductor de fase derivado de un sistema de diferente tensión.

6.2.3. Diámetro de tubería

El NEC establece criterios para la selección del diámetro de tuberías eléctricas (*conduit*) con el fin de garantizar la seguridad, la facilidad de instalación y el correcto funcionamiento de los sistemas eléctricos [13]. La elección del diámetro depende principalmente de tres factores:

1. Número de conductores a instalar dentro de la tubería.
2. Calibre de los conductores (AWG o *kcmil*).
3. Porcentaje máximo de ocupación permitido, según el tipo de tubería y el número de conductores:
 - 53 % de la sección interna de la tubería si contiene un solo conductor.
 - 31 % si contiene dos conductores.
 - 40 % si contiene tres o más conductores.

Estas limitaciones evitan el sobrecalentamiento de los conductores, facilitan el tendido y reducen el riesgo de daño mecánico durante la instalación [15].

La siguiente tabla presenta la cantidad de cables permitidos para distintos calibres de conductor y tamaños de tubería, según las especificaciones establecidas por el NEC para conductores tipo TW y XHHW.

Cuadro 6. Máximo número de conductores en tubería, según el NEC

Tipo de conductor	AWG	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"
TW, XHHW	14	9	15	25	44	60	99
TW, XHHW	12	7	12	19	35	47	78
TW, XHHW	10	5	9	15	26	36	60
TW, XHHW	8	2	4	7	12	17	28

Nota. La tabla presenta el número máximo de conductores permitidos en tuberías eléctricas según su calibre y diámetro del *conduit*, siguiendo los criterios de llenado establecidos por el NEC. Estos valores consideran las limitaciones de espacio y disipación térmica requeridas [16].

6.2.4. Protección contra sobre corriente

Los sistemas de protección en instalaciones residenciales son fundamentales para garantizar la seguridad de las personas y la integridad de los equipos eléctricos. El NEC establece normas para la instalación segura de sistemas eléctricos en viviendas, enfocándose en la prevención de riesgos eléctricos como sobrecargas, cortocircuitos y descargas eléctricas.

La protección contra sobre corriente es esencial en cualquier instalación eléctrica. Según el Artículo 210.20(A) del NEC la corriente nominal del dispositivo de protección, como un

interruptor automático, debe seleccionarse en función de la carga máxima prevista en el circuito [17].

El NEC indica que:

- La corriente nominal del *breaker* no debe ser menor que la corriente continua de carga calculada.
- Para circuitos de uso general, la capacidad del *breaker* puede ser hasta 125 % de la carga continua prevista, asegurando protección adecuada sin disparos innecesarios.

6.2.5. Sistemas de puesta a tierra

El Artículo 250 del NEC establece los requisitos para la puesta a tierra y unión de sistemas y equipos eléctricos, asegurando un camino seguro para las corrientes de falla y evitando tensiones peligrosas en partes metálicas expuestas de equipos, chasis, cajas, canalizaciones y estructuras que no deberían estar energizadas, proporcionando un camino seguro para corrientes de falla y protegiendo a los ocupantes de descargas eléctricas [18].

6.3. Domótica

La domótica se refiere a la integración de tecnologías y sistemas de control en viviendas, con el objetivo de mejorar la comodidad, eficiencia energética, seguridad y accesibilidad para los ocupantes [19], [20]. Estos sistemas permiten la gestión centralizada o remota de iluminación, climatización, seguridad, electrodomésticos y entretenimiento, utilizando dispositivos inteligentes y redes de comunicación.

6.3.1. Beneficios de la domótica

Los principales beneficios de la domótica en residencias incluyen:

- **Eficiencia energética:** permite optimizar el uso de iluminación y climatización según la ocupación y horarios, reduciendo el consumo eléctrico [20].
- **Seguridad:** sistemas de alarma, cámaras de vigilancia y control de accesos pueden integrarse para alertar y prevenir situaciones de riesgo [21].
- **Comodidad y accesibilidad:** facilita el control remoto de dispositivos y permite la automatización de tareas diarias, mejorando la calidad de vida de personas con movilidad reducida [19].

6.3.2. Integración con sistemas eléctricos residenciales

En la implementación de sistemas domóticos se debe considerar la infraestructura eléctrica existente. Según la normativa del NEC, los sistemas domóticos que manejan cargas significativas deben estar protegidos con dispositivos de sobrecorriente adecuados, y sus conductores y canalizaciones deben cumplir con los requisitos de capacidad y seguridad [22]. Además, es recomendable que la instalación contemple redes de comunicación separadas de los circuitos de potencia para evitar interferencias y garantizar el correcto funcionamiento de los dispositivos inteligentes [20].

6.3.3. Protocolo de comunicación Zigbee

El protocolo Zigbee es un estándar de comunicación inalámbrica basado en la norma IEEE 802.15.4, diseñado específicamente para aplicaciones de bajo consumo energético, baja velocidad de transmisión y redes de corto alcance [23]. Debido a estas características, se ha convertido en una de las tecnologías más utilizadas en la domótica, particularmente en la automatización de viviendas y sistemas de control residencial [24].

6.3.4. Características principales

Las principales características del protocolo Zigbee incluyen:

- **Bajo consumo energético:** los dispositivos Zigbee pueden funcionar durante largos periodos con baterías pequeñas, lo que los hace ideales para sensores y actuadores residenciales [25].
- **Redes malladas:** Zigbee permite la creación de redes en malla, donde cada dispositivo puede retransmitir información, mejorando la cobertura y confiabilidad de la red [24].
- **Velocidad de transmisión:** opera a velocidades de hasta 250 kbps, suficiente para aplicaciones de control y monitoreo.
- **Frecuencias de operación:** utiliza principalmente la banda de 2.4 GHz, aunque también puede trabajar en 868 MHz (Europa) y 915 MHz (América) [23].

6.3.5. Arquitectura de red Zigbee

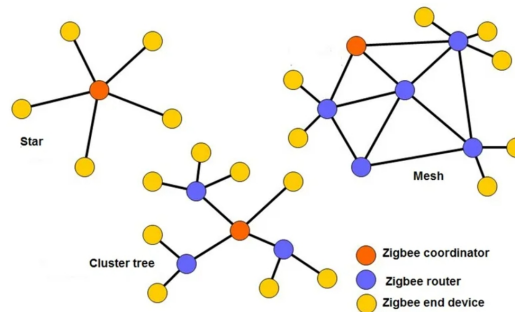
La arquitectura de una red Zigbee está compuesta por tres tipos de dispositivos:

- **Coordinador Zigbee (ZC):** es el dispositivo principal que inicia la red, gestiona la seguridad y coordina la comunicación entre los nodos [24].
- **Router Zigbee (ZR):** dispositivo que amplía el alcance de la red retransmitiendo datos entre nodos.

- **Dispositivo final (ZE):** generalmente sensores o actuadores, que se comunican a través del coordinador o los *routers*.

Zigbee se comunica con dispositivos para transmitir datos en diferentes tipos de topologías de red (Figura 7)

Figura 7. Esquema de tipologías y arquitectura de red Zigbee



Nota. Representación gráfica de las topologías de red utilizadas en el protocolo Zigbee: estrella, árbol (*cluster tree*) y malla (*mesh*). Se distinguen los roles de cada nodo dentro de la red: coordinador (nodo principal que inicia y administra la red), *router* (extiende la cobertura y permite el enrutamiento de datos) y dispositivo final (nodo terminal que únicamente envía o recibe información) [26].

6.3.6. Zigbee en aplicaciones de domótica

En el ámbito residencial, Zigbee se utiliza ampliamente en [25]:

- Sistemas de iluminación inteligente.
- Control de persianas, cortinas y electrodomésticos.
- Monitoreo de energía y consumo eléctrico.
- Sensores de seguridad: movimiento, apertura de puertas o ventanas y detección de humo o gas.

Su interoperabilidad con otros sistemas y dispositivos inteligentes lo convierte en una solución flexible y escalable para viviendas modernas [24].

Competencias a desarrollar

El tablero didáctico domótico constituye una herramienta práctica para el aprendizaje de instalaciones eléctricas residenciales y sistemas inteligentes de control. A través de su uso, los estudiantes desarrollarán competencias relacionadas con la identificación de elementos eléctricos, la aplicación de normativas vigentes, el análisis del consumo energético y la integración de tecnologías de automatización.

En base a las competencias y objetivos establecidos por la iniciativa académica de Instalaciones Eléctricas, así como en el criterio del docente encargado, se definieron tres competencias principales que el estudiante deberá desarrollar mediante la práctica con el tablero didáctico. Estas competencias se estructuraron tomando en cuenta las características del tablero, los dispositivos que lo conforman y las prácticas que pueden llevarse a cabo para reforzar el aprendizaje teórico y práctico del estudiante.

Estas competencias permitirán no solo fortalecer los conocimientos técnicos, sino también fomentar el pensamiento lógico, la pro actividad y la capacidad de aplicar soluciones innovadoras en el ámbito de la domótica residencial.

Cuadro 7. Competencia 1

<p>Identifica los elementos de la instalación eléctrica domiciliar simple y domótica a través de la observación de los dispositivos y conexiones en el tablero para obtener los saberes esenciales del diseño y montaje de las instalaciones eléctricas domiciliarias según las normativas NEC.</p>

<p>Saberes declarativos: circuito de iluminación, circuito de fuerza, sistemas domóticos, sistemas de protección, normativas NEC.</p>
--

<p>Saberes procedimentales: verifica en las normativas NEC el cumplimiento de código de color, calibre de cableado, diámetro de tubería y dispositivos de protección del sistema.</p>
--

<p>Saberes actitudinales: desarrollar pensamiento lógico y analítico. Demuestra interés y pro actividad durante la práctica.</p>

Cuadro 8. Competencia 2

Compara los valores de consumo energético de la instalación eléctrica domiciliar simple y domótica a través del módulo Inteligente POW Elite R3 para verificar la eficiencia de los dispositivos domóticos.
Saberes declarativos: corriente, voltaje, potencia, consumo eléctrico.
Saberes procedimentales: utiliza la aplicación eWeLink para monitorear las gráficas y valores del módulo Inteligente POW.
Saberes actitudinales: desarrollar pensamiento lógico y analítico. Demuestra interés y pro actividad durante la práctica.

Cuadro 9. Competencia 3

Comprende los sistemas de control eléctrico y protocolo de comunicación Zigbee residencial inteligente a través de la interacción con cada uno de los elementos del sistema domótico del tablero.
Saberes declarativos: sistemas domóticos, sensores, panel de control, sistemas de control inalámbricos.
Saberes procedimentales: utiliza la aplicación eWeLink para control de los dispositivos; utiliza el panel central de control de los dispositivos.
Saberes actitudinales: desarrollar pensamiento lógico y analítico. Demuestra interés y pro actividad durante la práctica.

La metodología aplicada para el desarrollo del tablero didáctico domótico se estructuró en distintas fases:

8.1. Definición del diseño inicial

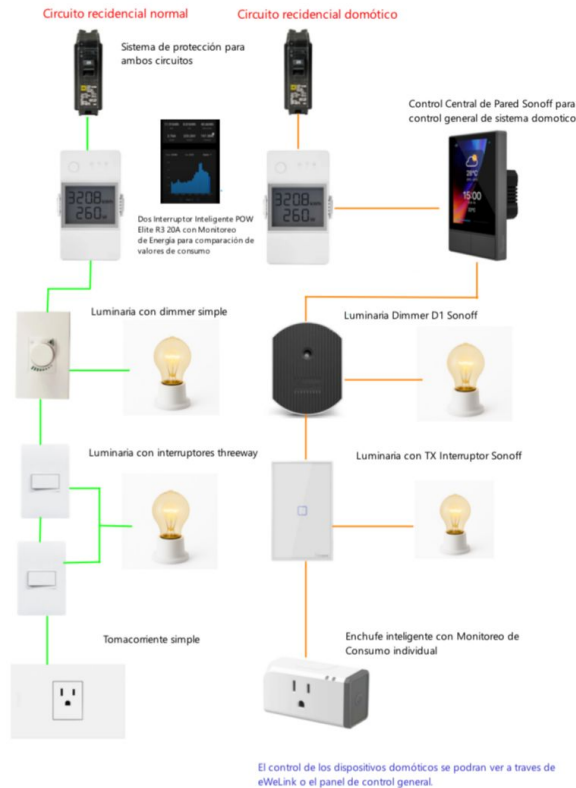
Se llevó a cabo una reunión con el docente de la iniciativa académica de instalaciones eléctricas, en la cual se discutieron los alcances y lineamientos del proyecto, asegurando que el diseño propuesto cumpliera con criterios académicos y normativos.

Como parte del proceso de selección de los dispositivos a utilizar, se investigaron diferentes marcas de accesorios eléctricos y domóticos disponibles en el mercado, evaluando sus especificaciones técnicas, compatibilidad, costo y disponibilidad, con el fin de determinar cuáles eran las más adecuadas para este proyecto.

8.2. Diseño eléctrico y diseño CAD del tablero

Primeramente, se elaboró un diagrama de bloques con el propósito de representar de forma general la lógica de funcionamiento del sistema, la interacción entre los componentes principales y las conexiones requeridas.

Figura 8. Diagrama de bloques de lógica de funcionamiento



Nota. Diagrama de bloques de sistemas a implementar, posibles dispositivos a utilizar y división entre los circuitos.

Posteriormente, mediante el *software* Autodesk Inventor se realizó el diseño CAD de cada uno de los elementos a utilizar, incluyendo el ensamblaje de la estructura del tablero, la disposición de las cajas eléctricas y la distribución de las tuberías.

Una vez definida la distribución de espacios en el diseño tridimensional, se procedió a elaborar los diagramas eléctricos utilizando la simbología adecuada para los diferentes elementos y conexiones. Dichos diagramas sirvieron no solo para documentar correctamente el diseño, sino también para calcular la cantidad de cableado requerida, tomando en cuenta las dimensiones reales de cada tramo.

8.3. Selección y adquisición de materiales

Se elaboró un listado de materiales que incluye los componentes eléctricos, dispositivos domóticos, accesorios y sensores necesarios para la construcción y funcionamiento del tablero.

Posteriormente, se realizó la cotización de cada uno de los elementos tanto con distribuidores nacionales como internacionales, tomando en cuenta los precios, disponibilidad y

tiempos de entrega.

Con esta información, se procedió a llenar los formularios correspondientes de la Universidad del Valle de Guatemala para la solicitud oficial de los materiales. Una vez aprobada dicha gestión administrativa, se dio paso a la adquisición y posterior recepción de los equipos y componentes requeridos para el proyecto.

8.4. Construcción y ensamblaje del tablero

En esta etapa se inició con la construcción de la estructura base y la fijación del tablero de madera que sirve como soporte principal. Posteriormente, se realizaron los agujeros correspondientes para la instalación de las cajas eléctricas de registro y derivación.

Una vez preparada la base, se procedió con el montaje de las cajas, conectores y la tubería eléctrica, asegurando la correcta canalización de los conductores. Finalmente, se llevó a cabo la conexión de los diferentes dispositivos, siguiendo el diseño previamente definido y garantizando la correcta polaridad y continuidad de las líneas.

8.5. Implementación del sistema de monitoreo energético

Una vez conectado el sensor de parámetros energéticos al circuito, se procedió a su programación inicial, configurando la intensidad nominal de operación de acuerdo con las especificaciones del sistema.

Posteriormente, se realizó la vinculación del sensor con el panel de control, lo que permitió la visualización en tiempo real de las mediciones de cada sistema dentro del tablero. De esta manera, fue posible registrar y analizar valores de voltaje, corriente y consumo energético para los diferentes escenarios planteados.

8.6. Elaboración de la guía teórica y práctica

Con el objetivo de consolidar el tablero como una herramienta didáctica integral, se elaboró una guía ordenada que reúne tanto los fundamentos teóricos como los procedimientos prácticos necesarios para su correcta utilización.

En esta guía se establecieron los conceptos clave relacionados con instalaciones eléctricas residenciales, sistemas domóticos y monitoreo energético, de manera que el usuario cuente con un marco de referencia previo a la ejecución de prácticas.

Asimismo, se diseñaron y describieron las prácticas que pueden llevarse a cabo con el tablero, detallando paso a paso las actividades a realizar, los dispositivos involucrados y los resultados esperados. De esta forma, se asegura que el tablero pueda ser utilizado como un recurso educativo estructurado, facilitando el aprendizaje progresivo de los estudiantes.

8.7. Pruebas y ajustes

Finalmente, se llevaron a cabo las pruebas de funcionamiento de todos los circuitos del tablero, comprobando la continuidad eléctrica, la correcta operación de cada dispositivo y la respuesta general del sistema. Asimismo, se verificó la vinculación y sincronización de los dispositivos domóticos con el panel de control central, evaluando su comportamiento en escenarios de encendido, apagado y atenuación. Adicionalmente, se realizaron pruebas de medición de consumo energético para comparar el rendimiento entre los sistemas analógicos y los inteligentes, asegurando que las lecturas del módulo de monitoreo fueran precisas y coherentes con las cargas conectadas.

9.1. Introducción

El diseño experimental se orientó a validar el correcto funcionamiento, la seguridad y la utilidad didáctica del tablero didáctico domótico. Las pruebas realizadas tuvieron como finalidad demostrar que la construcción, las interconexiones, la instrumentación de medición y la integración domótica se ajustan a los requisitos técnicos y educativos definidos en la metodología. A continuación se describen detalladamente los procedimientos ejecutados, los criterios empleados y la guía de prácticas diseñada para los estudiantes.

9.2. Selección de componentes

Criterios de selección

La selección de componentes se realizó con base en los siguientes criterios:

- **Compatibilidad eléctrica:** se evaluaron parámetros como la tensión y corriente nominales, el tipo de carga y los niveles de aislamiento adecuados. Para el caso específico del tablero didáctico, los circuitos fueron diseñados de manera que ninguna de las cargas conectadas exceda los 15 amperios, garantizando así un funcionamiento seguro y conforme a las capacidades de los dispositivos instalados.
- **Funcionalidad didáctica:** la selección de cada dispositivo se realizó considerando su valor pedagógico dentro del tablero didáctico, garantizando que contribuya al desarrollo de las tres competencias principales definidas para los estudiantes:

- **Relación con la competencia de interpretación normativa (NEC):** los dispositivos seleccionados permiten identificar conductores, protecciones, calibres de cable, tipos de tubería, polaridad y puesta a tierra. Esto facilita que el estudiante realice inspecciones visuales y analice la instalación conforme a la normativa NEC.
- **Relación con la competencia de análisis de circuitos analógicos:** los componentes empleados permiten prácticas como:
 - Encendido y apagado con interruptores convencionales.
 - Comparación de cargas (LED vs. incandescente).
 - Pruebas de interruptores de tres vías (3W).
 - Evaluación del funcionamiento de *dimmers* analógicos.
 - Medición de consumo eléctrico en condiciones reales.

Esto permite que el estudiante observe y comprenda el funcionamiento de un circuito residencial tradicional.

- **Relación con la competencia de integración de sistemas domóticos.** los dispositivos inteligentes seleccionados permiten prácticas como:
 - Control remoto y vinculación a un panel central.
 - Encendido, apagado y atenuación digital.
 - Conexión mediante protocolos Zigbee o Wi-Fi.
 - Medición del consumo activo y en reposo.
 - Evaluación de la respuesta ante fallas de comunicación.

Esto facilita que el estudiante compare el desempeño entre circuitos analógicos y domóticos, fortaleciendo sus habilidades de análisis y toma de decisiones tecnológicas.

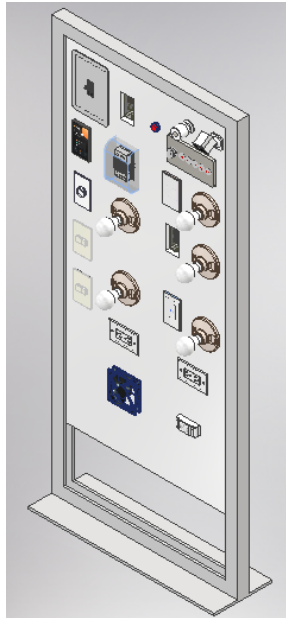
- **Costo y disponibilidad:** relación costo/beneficio y *stock* disponible en el mercado local e internacional.
- **Confiabilidad y soporte técnico:** facilidad de configuración y documentación del fabricante.

9.3. Diseño 3D en Inventor

Se elaboró un modelo tridimensional utilizando el software Autodesk Inventor. Este modelo permitió visualizar la estructura general del sistema y la distribución de los componentes eléctricos y mecánicos de forma precisa. El diseño 3D incluyó la creación de las piezas principales, tuberías y accesorios, el ensamble de los diferentes elementos y la verificación de interferencias entre partes. De esta manera se logró anticipar posibles problemas de montaje y ajustar las dimensiones necesarias antes de la construcción física del prototipo.

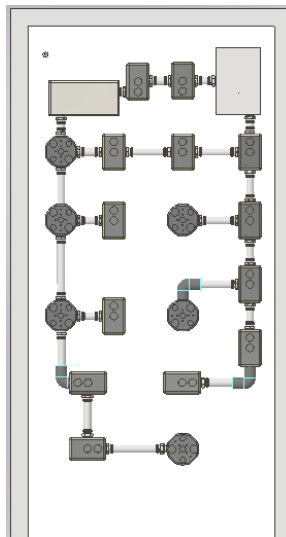
El modelo también sirvió como base para la generación de planos técnicos detallados, los cuales se emplearon durante la fase de montaje y conexión.

Figura 9. Vista isométrica del modelo 3D del panel en Autodesk Inventor



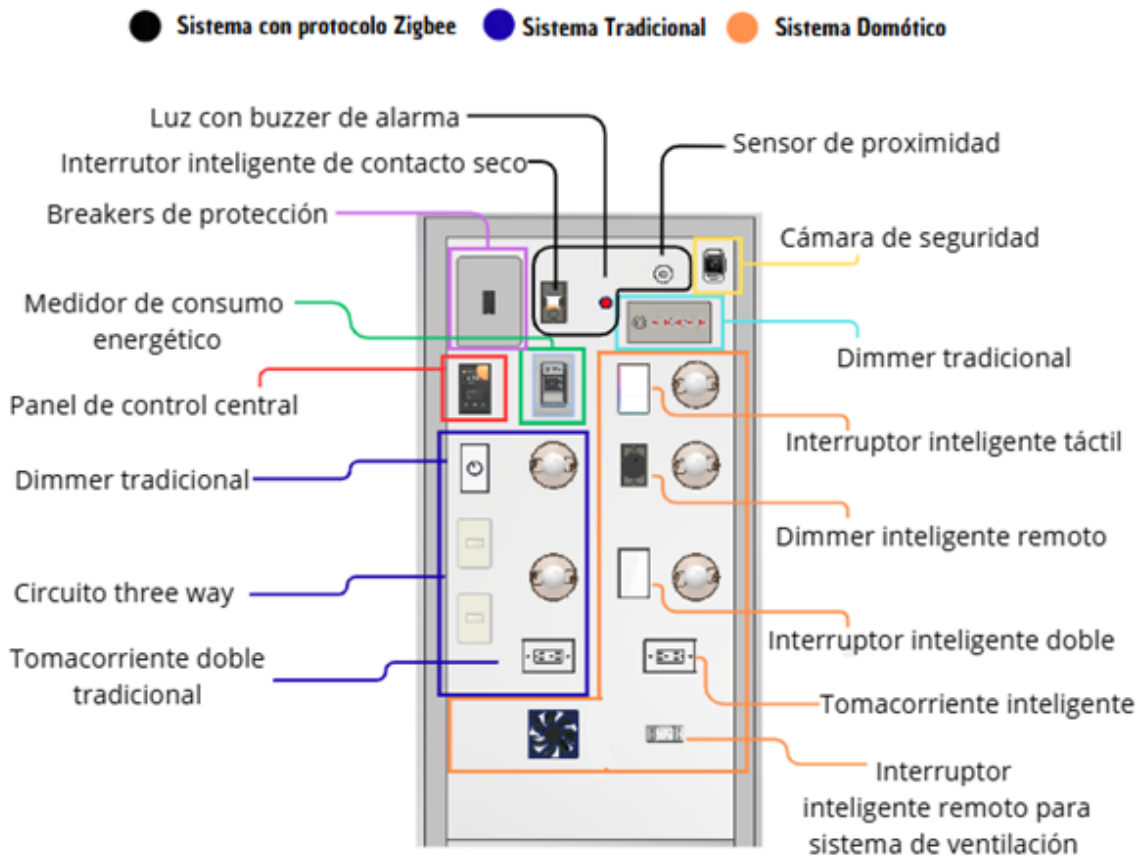
Nota. El diseño tridimensional del panel ilustra la disposición de los componentes eléctricos en su estructura física. Este modelo fue utilizado como base para la construcción y el análisis de montaje del sistema.

Figura 10. Vista trasera del modelo 3D del panel en Autodesk Inventor



Nota. Modelo tridimensional en Autodesk Inventor que muestra la disposición del cableado y las cajas de distribución del panel eléctrico. Esta representación permite visualizar la interconexión de los componentes y la ruta de los conductores.

Figura 11. Vista frontal del modelo 3D del panel en Autodesk Inventor



Nota. Distribución de los componentes del tablero demostrativo, el cual integra los dos sistemas: tradicional y domótico, además de los dispositivos con protocolo Zigbee. Se muestran los elementos principales tales como interruptores inteligentes, *dimmer* tradicionales y remoto, sensores, cámara de seguridad, panel de control central, toma corrientes (tradicionales e inteligentes), *breakers* de protección, medidor de consumo energético y módulos de automatización para iluminación y ventilación.

9.4. Plano de cableado

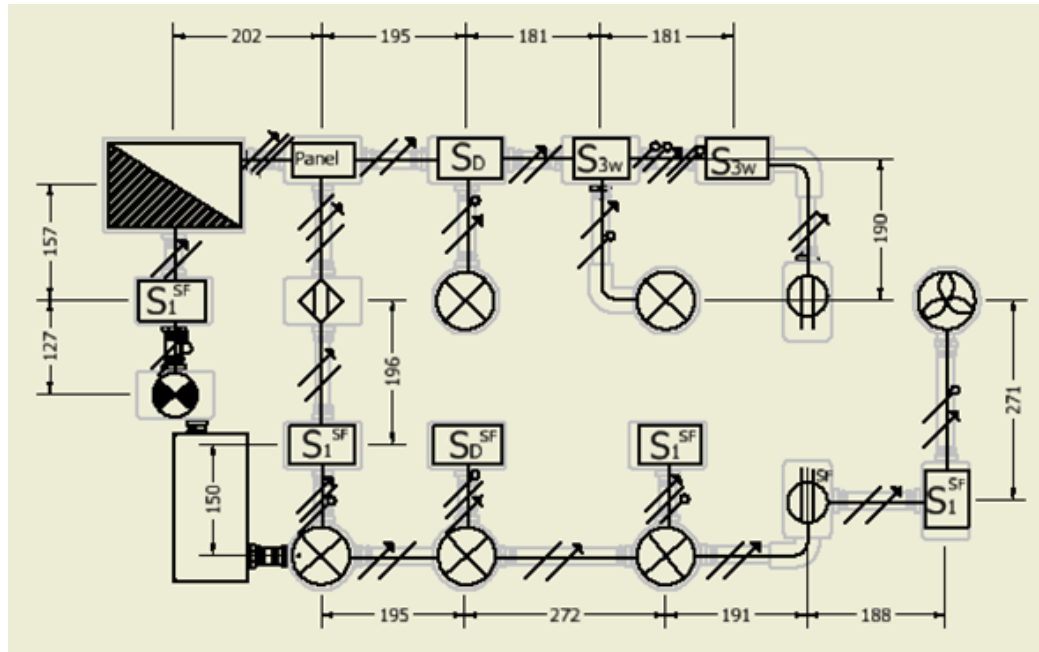
Posteriormente se elaboró el plano de cableado del sistema, el cual constituye una representación esquemática de la conexión entre todos los dispositivos eléctricos y electrónicos. Este diagrama incluyó la ubicación de los interruptores, toma corrientes, luminarias, cajas de distribución y demás componentes.

En el plano se detallaron las trayectorias de cada conductor (línea, neutro y retorno), con sus respectivos símbolos normalizados y cotas de distancia entre puntos. Dicho documento resultó fundamental para orientar tanto el cálculo de la cantidad de cableado como la ejecución práctica del montaje.

La elaboración del plano de cableado permitió:

- Determinar la cantidad exacta de conductores requeridos.
- Verificar la correcta conexión entre los elementos del circuito.
- Reducir el riesgo de errores durante la instalación.
- Servir como guía para futuros cambios.

Figura 12. Plano esquemático de cableado eléctrico del panel didáctico



Nota. El esquema muestra la distribución de interruptores, contactos, lámparas y motor, representando la conexión general del panel. Sirve como referencia para el cálculo de cableado y la implementación práctica.

9.5. Ejecución del presupuesto y cálculo de cableado

9.5.1. Ejecución del presupuesto

Se preparó un presupuesto detallado de productos de distribución nacional 10 e internacional 11. Se tomó en cuenta la conversión a dólar (USD) establecida por la Universidad del Valle de Guatemala para tener un estimado del costo total del proyecto (Cuadro 12).

Cuadro 10. Resumen de materiales y presupuesto del panel

Artículo / Descripción	Precio (GTQ)	Cantidad	Subtotal (GTQ)
Tablero monofásico 2 circuitos 70A Electrix	152.45	1	152.45
Breaker - Flipon THQL de General Electric	60.31	2	120.62
Dimmer Universal Sencillo	105.00	1	105.00
Interruptor sencillo 3 Way	14.50	2	29.00
Tomacorriente Doble BasicO	13.50	2	27.00
Plafonera simple blanca	7.25	5	36.25
Cable #14 awg azul (metro)	3.55	10	35.50
Cable #14 awg negro (metro)	3.55	10	35.50
Cable #14 awg blanco (metro)	2.90	10	29.00
Foco bombillo led	6.75	4	27.00
Tubería PVC gris 3/4 in (3 m)	9.06	1	9.06
Conector recto 3/4 plg PVC	1.75	40	70.00
Tablero MDF (4x8 pies, 5/8 plg)	378.50	1	378.50
Media plancha de acrílico transparente 3 mm	205.00	1	205.00
Mupi de aluminio (80x180 cm)	249.00	1	249.00
Tornillos punta fina de 1/2" (100 unds)	8.95	1	8.95
Caja rectangular plástica 1/2 x 3/4 plg gris	4.50	13	58.50
Caja octogonal conduit PVC	6.50	6	39.00
Codos PVC 90° x 3/4 in	2.30	5	11.50
Pegamento para acrílico 1/8 galón	36.00	1	36.00
Abrazadera conduit doble oreja 3/4 plg	0.66	10	6.60
Abrazadera Hangler 3/4 plg	2.00	5	10.00
Selector 3 posiciones con caja	115.00	1	115.00
Luz piloto c/buzzer 22mm rojo 120V	31.00	1	31.00
Ventilador TMC 120V, 280mA, 120 mm OXDEA	90.00	1	90.00
Caja de registro exteriores 20x10x7 cm IP65	65.00	1	65.00
Switch de balancín ON-OFF 110VAC con piloto rojo	7.00	5	35.00
Total compras nacionales			2,015.43

Nota. Cuadro con el listado detallado de materiales adquiridos a nivel nacional. Los precios están expresados en en Quetzales (GTQ).

Cuadro 11. Compras internacionales

Nombre	Descripción	Precio en US\$	Precio en GTQ	Cantidad	Subtotal (GTQ)
Caja para medidor	Caja de protección Sonoff	8.99	71.02	1	71.02
Interruptor TX	SONOFF TX T2 Series WiFi Switch US 2 Gang Ultra White	15.90	125.61	1	125.61
Dimmer Sonoff	Interruptor de atenuación inteligente SONOFF D1	15.90	125.61	1	125.61
Enchufe inteligente	Enchufe inteligente con Wi-Fi SONOFF iPlug Series: S40 tipo B	7.63	60.28	1	60.28
Cámara	Cámara de seguridad inteligente para el hogar SONOFF CAM Slim Gen2	19.90	157.21	1	157.21
Sensor de movimiento	Sensor de movimiento SONOFF Zigbee SNZB-03P	11.90	94.01	1	94.01
Bombillo Sonoff	Bombilla LED inteligente Wi-Fi SONOFF B05-BL 120V	9.90	78.21	1	78.21
Interruptor táctil	SONOFF TX Ultimate Smart Touch Wall Switch - 1 GANG	24.90	196.71	1	196.71
Interruptor sin neutro	Interruptor inteligente SONOFF ZBMINI Extreme Zigbee ZBMINIL2 (sin neutro)	13.99	110.52	1	110.52
Interruptor de adaptación	Interruptor inteligente Wi-Fi SONOFF BASICR4 para cualquier dispositivo	4.85	38.32	1	38.32
Panel de control	Panel táctil de control inteligente para el hogar SONOFF NSPanel Pro - Tipo 120	89.90	710.21	1	710.21
Medidor de potencia	Interruptor medidor de potencia inteligente SONOFF POW Elite	16.99	134.22	1	134.22
Total compras internacionales					Q 1,901.93

Nota. Cuadro con el listado detallado de materiales adquiridos a nivel internacional. Los precios están expresados en dólares estadounidenses y en Quetzales (GTQ).

Cuadro 12. Resumen de materiales y presupuesto del panel

LISTADO DE MATERIALES Y PRESUPUESTO DE PANEL		
Descripción	Cantidad	Subtotal (GTQ)
Artículos de compras nacionales	27	Q 2,015.43
Artículos de compras internacionales	12	Q 1,901.93
Total de artículos nacionales e internacionales	39	Q 3,917.36

Nota. Cuadro con costos totales de compras nacionales e internacionales expresada en Quetzales (GTQ).

9.5.2. Procedimiento de cálculo de cantidad de cableado

El cálculo de cableado se realizó siguiendo estos pasos:

1. **Extracción de longitudes desde CAD:** usando el diseño en Inventor se obtuvieron las longitudes de cada tramo (entre cajas, equipos y tomas).

2. **Lista de conductores por tramo:** para cada tramo se definió el número y tipo de conductores (fase, neutro, tierra, control, señal).
3. **Aplicación de holgura:** a la suma de longitudes se añadió un porcentaje para holgura y desperdicio y para conexiones finales.
4. **Cálculo de sección:** se realizó la selección de sección mínima conforme NEC considerando la corriente esperada y el tipo de dispositivos.
5. **Resumen:** se generó una lista final con metros por tipo de conductor y se añadió stock de repuesto.

Cuadro 13. Detalle de tramos de cableado, número de conductores y puntas por caja

Cálculo de cantidad de cableado por tramos							
Tamaño del tramo (mm)	No. línea	No. neutro	No. retorno	Línea (mm)	Neutro (mm)	Retorno (mm)	No. de puntas por caja
127	1	1	1	127	127	127	4
157	1	1	0	157	157	0	2
199	2	1	0	398	199	0	2
198	1	1	0	198	198	0	4
181	1	1	3	181	181	543	5
190	1	1	1	190	190	190	8
190	0	1	1	0	190	190	3
380	2	1	0	380	190	0	11
196	1	1	0	196	196	0	12
150	1	1	1	150	150	150	13
272	1	1	0	272	272	0	14
191	1	1	0	191	191	0	15
188	1	1	0	188	188	0	16
271	0	1	1	0	271	271	17
150	1	1	0	150	150	0	18
150	1	1	1	150	150	150	20

Nota. El cuadro presenta el detalle del cálculo de cableado según el tamaño de cada tramo, indicando el número de conductores de línea, neutro y retorno en cada sección. Esta información permite visualizar la distribución del cableado por trayecto.

Cuadro 14. Factores adicionales y total de cable calculado

Total de puntas	50
Factor de holgura	0.15
Total de holgura (m)	7.5
Total cable (m)	10.224

Nota. El cuadro resume parámetros complementarios al cálculo de cableado: el número total de puntas utilizadas en las conexiones, el factor de holgura considerado, la holgura total estimada y el valor final del cable requerido.

Cuadro 15. Totales y cálculos aplicados al cableado

Concepto	Línea	Neutro	Retorno
Total (mm)	3180	3569	1771
Total (m)	3.18	3.57	1.77
Factor 20 %	0.64	0.71	0.35
Total con Factor (m)	3.82	4.28	2.13
Porcentaje del total	37.3 %	41.9 %	20.8 %
Holgura individual (m)	2.80	3.14	1.56
Total con Factor y Holgura (m)	6.62	7.42	3.68
Redondeo (m)	7	8	4

Nota. El cuadro muestra los resultados globales obtenidos a partir de la sumatoria de los tramos, expresados en milímetros y metros aplicando un redondeo final.

Como se observa en el cuadro 15, los cálculos consideran un **factor de seguridad del 20 %** y una **holgura total de 7.5 m**, aplicados mediante la ecuación de longitud total:

$$L_{final} = (L_{total} + 0.2 \cdot L_{total}) + L_{holgura}$$

9.6. Construcción y ensamblaje del tablero

Etapas y procedimientos

1. **Preparación de la base:** armado de estructura de soporte para la base de madera. Se verificó planitud y rigidez para evitar vibraciones.

Figura 13. Base del tablero



Nota. Construcción de base de aluminio para soporte principal del tablero.

2. **Marcado y perforado:** se marcaron las posiciones de las cajas eléctricas y se realizaron los cortes de los agujeros, asegurando alineación y distancia adecuada entre elementos.

Figura 14. Corte de base de madera del tablero



Nota. Corte de base madera en sierra de mesa con personal y equipo adecuado.

- 3. Montaje de cajas y canalizaciones:** instalación de cajas de registro, abrazaderas, soportes y tuberías de acuerdo al diseño CAD.

Figura 15. Sistema de tuberías del tablero



Nota. Ensamblaje total de tuberías y accesorios de la parte trasera del tablero.

4. **Tendido del cableado:** se realizó el tendido respetando los espacios de holgura establecidos.

Figura 16. Tendido del cableado



Nota. Conexión interna del tablero didáctico, con la interconexión entre los dispositivos eléctricos y domóticos.

5. **Conexiones y terminaciones:** apriete de *borners* con torque controlado y verificación de continuidad.
6. **Inspección inicial:** comprobación visual y eléctrica de cada circuito antes de energizar (revisión de polaridad, continuidad y ausencia de cortocircuitos) y primeras pruebas de consumo y funcionamiento después de energizar.

Figura 17. Pruebas de funcionamiento del tablero



Nota. Primeras pruebas de funcionamiento de cada sistema integrado.

9.7. Instalación y configuración del sistema de monitoreo energético

Programación y vinculación

1. **Programación de parámetros nominales:** se configuraron los valores nominales del sensor de medición energética, incluyendo la corriente máxima esperada del circuito. Esta programación inicial permitió ajustar el dispositivo para que además de registrar los valores de consumo pudiera servir como una segunda fase de protección para que el circuito funcione dentro del rango operativo del tablero.
2. **Integración con el panel de control:** una vez configurado el sensor, se procedió a su vinculación con el panel de control central, permitiendo visualizar en tiempo real las

magnitudes eléctricas medidas: voltaje, corriente y potencia. La integración incluyó la sincronización de los canales de comunicación, la verificación de la transmisión estable de datos y la configuración del panel para registrar históricos de consumo de cada sistema.

9.8. Pruebas: integración domótica

- **Verificación de control básico:** se enviaron comandos desde el panel central para realizar funciones de encendido, apagado y atenuación de los dispositivos de iluminación. Se validó la correcta recepción de las órdenes, la latencia de respuesta y la estabilidad del control inalámbrico.
- **Prueba de vinculación y conectividad:** durante las pruebas se identificaron dificultades para conectar los dispositivos a la red *wifi* institucional. Para garantizar su operación, se implementó una red externa dedicada mediante un *router* móvil, lo cual permitió vincular exitosamente todos los módulos mediante la aplicación eWeLink. Posteriormente, los dispositivos operaron con estabilidad sobre esta red exclusiva.
- **Integración del sistema Zigbee:** los dispositivos basados en Zigbee funcionaron correctamente, sin depender de la red *wifi*. Se validó la comunicación constante entre el coordinador el cual es nuestro panel central y los dispositivos finales.
- **Prueba de des conexión de control:** se simuló una pérdida de red para evaluar el comportamiento de los actuadores domóticos. Se observó que los dispositivos mantuvieron su último estado de operación, garantizando un comportamiento seguro en ausencia de comunicación a excepción de la cámara y el *dimmer* inteligente los cuales dejaron de funcionar en su totalidad durante la pérdida de red.
- **Validación de integración completa:** una vez establecida la red de operación adecuada, todos los dispositivos respondieron de manera consistente, permitiendo confirmar que el sistema domótico puede controlarse y supervisarse eficientemente desde el panel central o cualquier dispositivo móvil.

9.9. Resultados

Resultados del diseño y modelado 3D

El diseño digital del tablero se completó satisfactoriamente en Autodesk Inventor, incorporando todos los dispositivos eléctricos, tuberías, canalizaciones, accesorios y la distribución final de los elementos. El modelo permitió verificar previamente el espacio disponible, la ruta del cableado y la ubicación de cada módulo, evitando interferencias y facilitando la etapa de construcción. Durante el ensamblaje físico, el diseño 3D coincidió estrechamente con la implementación real, con excepción de la estructura de soporte, la cual requirió refuerzos adicionales para garantizar la rigidez necesaria debido al peso del tablero y los dispositivos instalados.

Resultados de instalación eléctrica y pruebas iniciales

Una vez completado el cableado y las conexiones, se realizaron pruebas de continuidad, verificación de polaridad y energización progresiva de los circuitos. Los resultados mostraron que:

- No se presentaron cortocircuitos ni sobrecargas durante la energización inicial.
- Los circuitos analógicos y los dispositivos convencionales respondieron correctamente.
- Las protecciones actuaron conforme a las capacidades establecidas.

Estas pruebas confirmaron la correcta instalación física y el funcionamiento seguro de los circuitos.

Resultados de la vinculación y funcionamiento de los sistemas domóticos

La vinculación de los dispositivos inteligentes se logró de manera satisfactoria mediante la aplicación eWeLink de la marca Sonoff. No obstante, se identificó que dichos dispositivos no pudieron conectarse a las redes *wifi* institucionales, por lo que se optó por implementar un *router* móvil con una red dedicada. Con esta red, todos los dispositivos lograron vincularse y operar sin inconvenientes.

Por su parte, el sistema Zigbee funcionó sin problemas desde el inicio, ya que no dependía de la red *wifi* universitaria.

Resultados de pruebas de consumo y monitoreo energético

Se realizaron mediciones de consumo en los diferentes sistemas implementados: circuito analógico, circuito inteligente y cargas individuales. Las pruebas permitieron verificar:

- La lectura correcta de tensión, corriente y potencia desde el medidor instalado.
- La capacidad del panel central de registrar variaciones al activar o desactivar dispositivos domóticos.
- La estabilidad del monitoreo en escenarios de carga baja, media y alta.

9.10. Discusión de resultados

Los resultados obtenidos demuestran que el tablero didáctico cumple con las funciones previstas y representa una herramienta adecuada para el desarrollo de competencias en instalaciones eléctricas y domótica. Las pruebas realizadas permitieron validar que su

diseño, construcción y sistemas asociados facilitan el aprendizaje práctico y la exploración de configuraciones reales de circuitos residenciales.

En cuanto al diseño físico, el modelo 3D permitió anticipar la distribución del cableado, tuberías y dispositivos, reduciendo errores durante la construcción. El único ajuste necesario fue el refuerzo de la estructura para soportar el peso total del sistema, lo cual mejoró su estabilidad y seguridad.

Durante las pruebas eléctricas, no se presentaron fallas, lo que confirma la correcta selección de conductores, protecciones y canalizaciones. Asimismo, la integración domótica fue exitosa una vez establecida una red *wifi* dedicada, lo que evidenció un aspecto importante: los dispositivos inteligentes requieren una red estable y no son compatibles con todas las redes institucionales. Este hallazgo constituye un punto clave para su futura implementación en laboratorios académicos.

El sistema de monitoreo energético permitió registrar las variaciones de consumo y visualizar tendencias en el panel central, confirmando que el tablero puede emplearse eficazmente para prácticas de análisis de consumo, operación de cargas, comparación entre sistemas y evaluación de eficiencia energética.

1. Se diseñó el tablero didáctico, integrando tanto el sistema eléctrico residencial tradicional como la versión con dispositivos domóticos, cumpliendo con los criterios funcionalidad y las normas aplicables.
2. La implementación del sistema de monitoreo energético fue exitosa, logrando visualizar en el panel central los parámetros de consumo y validando la comunicación estable con los dispositivos de medición.
3. El diseño CAD permitió planificar con precisión la distribución de tuberías, dispositivos y conexiones, facilitando la construcción física del tablero y asegurando un ensamblaje ordenado, seguro y acorde a las especificaciones.
4. El tablero se construyó conforme a los modelos CAD y a los requisitos del NEC, y las pruebas de funcionamiento confirmaron la correcta operación de los circuitos, así como la integración completa de los dispositivos domóticos y del sistema Zigbee.
5. El tablero quedó validado como una herramienta didáctica útil y funcional, demostrando su potencial para prácticas académicas en instalaciones eléctricas y automatización, cumpliendo así el objetivo general del proyecto.

CAPÍTULO 11

Recomendaciones

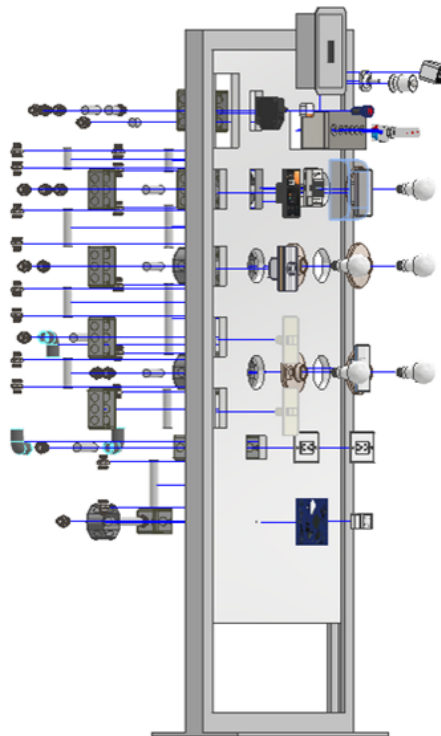
- Dar mantenimiento preventivo al tablero de manera periódica, verificando el apriete de las conexiones eléctricas, el estado del cableado y la funcionalidad de los dispositivos domóticos instalados.
- Documentar cada modificación o mejora que se realice en el tablero, con el fin de mantener actualizado el plano eléctrico y evitar confusiones durante su uso en futuras prácticas.
- Considerar la incorporación de más dispositivos inteligentes en versiones futuras del tablero, como sensores o actuadores adicionales, para ampliar el rango de prácticas disponibles para los estudiantes.
- Establecer un registro de consumo energético en cada práctica realizada, para generar una base de datos que permita analizar patrones de uso y fortalecer los aprendizajes en eficiencia energética.

- [1] D. S. H. Navarro y L. A. C. Barahona, *Diseño e implementación de un módulo didáctico para instalaciones eléctricas residenciales*, Dirigido por Ing. César Antonio Cáceres Galán, MSc., 2024.
- [2] *Elettronica Veneta S.p.A. - Soluciones y equipos didácticos*, ene. de 2021. dirección: <https://www.elettronicaveneta.com/es/>.
- [3] R. Ramos, *Siemens presenta la plataforma digital que acelera la transformaci ...* Oct. de 2022. dirección: <https://press.siemens.com/es/es/notadeprensa/siemens-presenta-la-plataforma-digital-que-acelera-la-transformacion-de-los-hospitales>.
- [4] Celectro-Pro, *Instalaciones eléctricas residenciales - Celectro-Pro*, mayo de 2025. dirección: <https://celectro-pro.com/instalaciones-electricas-residenciales/>.
- [5] G. E. Harper, *El ABC de las instalaciones eléctricas residenciales*. LIMUSA S.A, 2005. dirección: <https://books.google.com.gt/books?id=8oAs1nXgZq8C&lpg=PA4&hl=es&pg=PP1#v=onepage&q&f=false>.
- [6] F. ZAVODA, «MEASUREMENT OF THE HARMONIC IMPEDANCE OF LV DISTRIBUTION SUPPLY SYSTEM (120/240 V),» abr. de 2007. dirección: https://www.researchgate.net/publication/228822768_MEASUREMENT_OF_THE_HARMONIC_IMPEDANCE_OF_LV_DISTRIBUTION_SUPPLY_SYSTEM_120240_V?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7.
- [7] circuitoelectrico.com, *Equilibrado de cargas - Evita sobrecargas en tu instalación*, mar. de 2025. dirección: <https://circuitoelectrico.com/sistemas-instalacion-instalaciones-interiores/equilibrado-reparto-cargas/>.
- [8] T. Toribio, «Instalación eléctrica del circuito de iluminación,» en dirección: https://es.scribd.com/document/165429072/INSTALACION-ELECTRICA-DEL-CIRCUITO-DE-ILUMINACION?utm_source=chatgpt.com.
- [9] Elec.Exp., *Diferencias entre circuitos de fuerza y circuitos de alumbrado*, nov. de 2024. dirección: <https://www.electricidadexpertos.com/diferencias-circuitos-fuerza-alumbrado/>.

- [10] E. S. F. I. (ESFI), *The National Electrical Code (NEC) - Electrical Safety Foundation International*, jun. de 2023. dirección: <https://www.esfi.org/workplace-safety/industry-codes-regulations/the-national-electrical-code-nec/>.
- [11] *American Wire Gauge (AWG) Sizes and Properties Chart / Table*, mar. de 2016. dirección: <https://www.3jindustry.com/blogs/news/98462150-american-wire-gauge-awg-sizes-and-properties-chart-table>.
- [12] ASTM International, *Standard Specification for Standard Nominal Diameters and Cross-Sectional Areas of AWG Sizes of Solid Round Wires Used as Electrical Conductors*, West Conshohocken, PA, USA: ASTM International, 2018.
- [13] N. F. P. Association, *NFPA 70: National Electrical Code*. Quincy, MA, USA: NFPA, 2023.
- [14] L. Mari, «Conceptos básicos del Código Eléctrico Nacional: Dimensionamiento y protección de conductores de circuitos derivados,» jun. de 2022. dirección: <https://eepower.com/technical-articles/national-electrical-code-basics-sizing-and-protecting-branch-circuit-conductors/#>.
- [15] F. P. Ward y H. P. Hauff, *Practical Electrical Wiring: Residential, Farm, Commercial, and Industrial*. Park Publishing, Inc., 2020.
- [16] *NEC Conduit Fill: Maximum Number of Conductors in Conduit or Tubing*, Tabla de capacidad de llenado de tuberías eléctricas para conductores TW y XHHW, National Electrical Code (NEC), 2020.
- [17] *National Electrical Code (NEC) – Article 210: Overcurrent Protection*, Establece los requisitos para la selección, aplicación y capacidades de los dispositivos de protección contra sobrecorriente., National Fire Protection Association (NFPA), Quincy, MA, 2023.
- [18] *National Electrical Code (NEC) – Article 250: Grounding and Bonding*, Especifica los requisitos de puesta a tierra y unión para garantizar la seguridad y continuidad de los sistemas eléctricos., National Fire Protection Association (NFPA), Quincy, MA, 2023.
- [19] A. Sicre, *Domótica y automatización del hogar*. Madrid, España: Editorial Tecnológica, 2019.
- [20] P. Alonso y M. García, «Sistemas inteligentes para viviendas: eficiencia y confort,» *Revista de Ingeniería y Tecnología*, vol. 15, n.º 3, págs. 45-58, 2020.
- [21] J. Campos, *Seguridad residencial mediante sistemas domóticos*. Barcelona, España: Editorial Seguridad Electrónica, 2018.
- [22] N. F. P. A. (NFPA), *NFPA 70: National Electrical Code*, 2023.^a ed. Quincy, MA: NFPA, 2023.
- [23] IEEE Standards Association, *IEEE Standard for Low-Rate Wireless Networks (802.15.4)*, 2020. DOI: 10.1109/IEEESTD.2020.9144691.
- [24] Zigbee Alliance, *Zigbee Specification*, Connectivity Standards Alliance (CSA), 2021. dirección: <https://csa-iot.org/>.
- [25] J.-P. Vasseur y A. Dunkels, *Interconnecting Smart Objects with IP: The Next Internet*. Morgan Kaufmann, 2018, ISBN: 9780123751652.

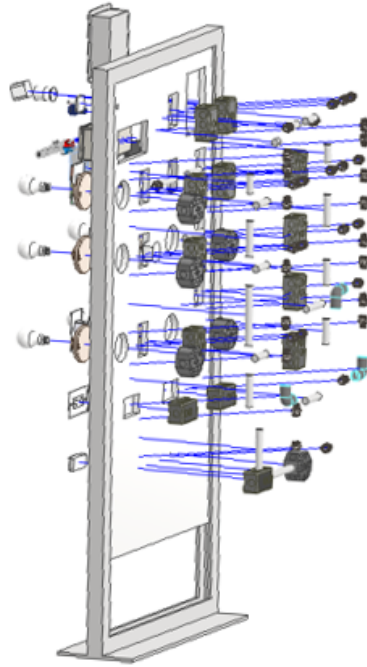
- [26] C. E. E. T. CoLtd, *Que es Zigbee y una explicación de la topología de red Zigbee y la arquitectura ZigBee*, mayo de 2024. dirección: <https://www.es-ebyte.com/news/1541>.

Figura 18. Vista frontal del ensamblaje explotado del tablero didáctico



Nota. Representación frontal de la explosión del ensamblaje creado en Autodesk Inventor, donde se muestran los componentes y la distribución general antes del montaje final.

Figura 19. Vista trasera del ensamblaje explotado del tablero didáctico



Nota. Vista posterior de la explosión del ensamblaje en Autodesk Inventor, mostrando tubería, accesorios y distribución interna utilizada para el montaje.