



Análise de consumo enerxético mediante tecnoloxías IoT

Enrique Nodar Carro

Tese para obter o Título de Mestrado en Energias Renováveis e Eficiência Energética.

Bragança

2019/20



Análise de consumo enerxético mediante tecnoloxías IoT

Enrique Nodar Carro

Documento presentado á Escola de Tecnoloxía e Xestión do Instituto Politécnico de Bragança no Título de Mestrado en Energías Renováveis e Eficiêcia Energética en acordo de Doble Titulación co Máster en Eficiencia y Aprovechamiento Energético da Universidade da Coruña.

Supervisores:

Prof. Paulo Leitão

Prof. José Luis Calvo Rolle

Bragança

2019/20

Agradecementos

A realización deste proxecto non houbera sido posible sen todas as persoas que me mostraron o seu apoio e me aportaron a súa experiencia e afecto nesta etapa.

En primeiro lugar, aos meus tutores Paulo Leitão e Jose Luis Calvo Rolle e a Jonas Queiroz, por non dubidar en ningún momento á hora de prestarme a súa axuda.

Á miña familia e amigos, polo seu apoio incondicional.

A Carla, pola súa infinita paciencia.

Moitas grazas a todos.

Resumo

A importancia da eficiencia enerxética e da sustentabilidade dos recursos na sociedade actual non é discutible. O consumo responsable dos recursos enerxéticos condiciona a economía, o desenvolvemento tecnolóxico e a cuestión medioambiental a nivel global. Cun enfoque máis concreto, falando de espazos de traballo e residencia, o confort dos individuos vese afectado polas condicións ambientais nas que se atopan, que están directamente relacionadas co uso dos elementos de iluminación e climatización, entre outros. É dicir, elementos que fan uso da enerxía eléctrica.

Establecer unhas condicións de confort no ambiente, á vez que se reducen os gastos innecesarios de enerxía, son dous dos obxectivos do movemento *smart building* e dos “ambientes intelixentes”. Estas correntes tecnolóxicas pretenden mellorar a estancia dos individuos e favorecer o desenvolvemento das actividades que en eles se levan a cabo, facendo un uso responsable dos recursos segundo as necesidades e preferencias dos usuarios.

Esta tese recolle estes obxectivos mediante a realización dunha solución de *smart lab* de baixo custo no Laboratorio de Investigación e Innovación (L2I) do Research Centre in Digitalization and Intelligent Robotics (CeDRI) do Instituto Politécnico de Bragança. Búscase mellorar as condicións de traballo e, simultaneamente, fomentar o uso ético e sustentable dos recursos enerxéticos dos que se dispón neste lugar (iluminación, sistemas de aire acondicionado e quencemento, por exemplo).

Desenvólvese un sistema de monitorización e control no laboratorio baseado en tecnoloxías Internet of Things (IoT) *low cost*. Unha rede de sete módulos formados por sensores é deseñada e distribuída no espazo, co obxectivo de captar información relativa

ás condicións ambientais e ao estado do entorno. Esta información é almacenada nunha base de datos de InfluxDB e utilizada polo *framework* Grafana para a visualización gráfica da mesma e a toma de decisións relativas á eficiencia enerxética.

O sistema deseñado é utilizado para a xestión dos recursos de iluminación, ventilación, calefacción e aire acondicionado do laboratorio mediante un sistema de alertas e avisos aos usuarios. Estas alertas establecen indicacións aos individuos de posibles medidas a tomar para realizar un uso máis eficiente da enerxía, evitar desperdicios innecesarios e incrementar o confort.

Palabras clave: *Smart building, Smart devices, Internet of Things*, eficiencia enerxética, sustentabilidade, aproveitamento enerxético, ambiente intelixente, sensorización, monitorización.

Contents

Resumo	vii
Acrónimos	xv
1 Introducción	1
1.1 Encuadramento	1
1.2 Obxectivos	2
1.3 Estructura do Documento	3
2 Estado do arte	5
2.1 Eficiencia enerxética en edificios	5
2.2 Smart building e IoT	7
2.2.1 Ambientes intelixentes	8
2.2.2 Monitorización e control das condicións ambientais	9
2.3 Smart devices e tecnoloxías	12
2.3.1 Sensores	12
2.3.2 Controladores	16
2.3.3 Actuadores	17
2.3.4 Comunicación en IoT	19
3 Solución <i>smart lab</i> para monitorización enerxética con IoT	23
3.1 Caso de estudo	24
3.2 Requisitos do sistema	25

3.2.1	Requisitos técnicos	26
3.2.2	Requisitos funcionais	26
3.2.3	Requisitos de datos	27
3.3	Estratexia para desenvolvemento e instalación de sensores	28
3.4	Estratexia para monitorización e control	30
3.4.1	Topoloxía da rede	30
3.4.2	Almacenamento de datos	31
3.4.3	Sistema de visualización	34
4	Desenvolvemento	37
4.1	Prototipos desenvolvidos	37
4.1.1	Sensores	37
4.1.2	Controladores	44
4.1.3	Ubicación dos nós	48
4.1.4	Deseños do nós	50
4.1.5	Compartimentos de impresión 3D	60
4.2	Interacción e comunicación	64
4.2.1	Funcionamento e comunicación dos nós	64
4.2.2	Comunicación nó-base de datos	68
4.2.3	Comunicación de InfluxDB con Grafana	69
4.3	Monitorización e control	71
4.3.1	Almacenamento dos datos	71
4.3.2	Monitorización	71
4.3.3	Control	74
5	Experimentos e resultados preliminares	77
5.1	Sensores	77
5.2	Monitorización y control	78
6	Conclusiones	83

List of Figures

2.1	Comparativa do consumo de electricidade (kWh) per cápita entre Estados Unidos, España e Portugal [1].	6
2.2	Clasificación dos tipos de sensores segundo a súa función.	15
2.3	Ejemplo de System-On-Chip	16
2.4	Controlador ARM [17].	16
2.5	SBC Raspberry Pi [18].	17
2.6	SBC BeagleBone [19].	17
2.7	Clasificación dos controladores de IoT.	18
3.1	Croquis do laboratorio de Investigación e Innovación (L2C) do CeDRI. . .	25
3.2	Exemplo da topoloxía escollida.	31
4.1	Módulo BH1750 [23].	38
4.2	Módulo SHT10 [24].	39
4.3	Módulo BME280 [25].	40
4.4	Módulo CCS811 [26].	41
4.5	Módulo AM312 [27].	42
4.6	Sensor reed [28].	43
4.7	Sensor de consumo eléctrico IoTaWatt [29].	44
4.8	Variantes do chip ESP8266 [32].	45
4.9	Módulo ESP12 E [33].	46
4.10	Placa Wemos D1 [34].	47
4.11	Placa Wemos D1 Mini [35].	47

4.12	Ubicacións dos nós no laboratorio.	50
4.13	Conector <i>jumper</i> [36].	51
4.14	Conector de corrente continua femia [37].	51
4.15	Reductor lineal AMS1117 3P - 3.3V [38].	52
4.16	Conector borne [39].	52
4.17	Deseño da placa de circuito impreso do nó da porta de acceso ao laboratorio.	53
4.18	Conexións eléctricas do circuito do nó da porta de acceso ao laboratorio.	54
4.19	Deseño da placa de circuito impreso do nó do cuarto de reunións.	54
4.20	Conexións eléctricas do circuito do nó do cuarto de reunións.	55
4.21	Deseño da placa de circuito impreso do nó da columna central do laboratorio.	56
4.22	Conexións eléctricas do circuito do nó da columna central do laboratorio.	56
4.23	Deseño da placa de circuito impreso do nó da parede lateral acristalada.	57
4.24	Conexións eléctricas do circuito do nó da parede lateral acristalada.	58
4.25	Panel solar fotovoltaico [40].	58
4.26	Módulo CN3065 [41].	59
4.27	Batería de ións litio VCR 18650B [43].	60
4.28	Deseño da placa de circuito impreso do nó situado no exterior do laboratorio.	61
4.29	Conexións eléctricas do circuito do nó situado no exterior do laboratorio.	61
4.30	Cuberta da caixa de impresión 3D utilizada nos nós do interior do laboratorio.	62
4.31	Base da caixa de impresión 3D utilizada nos nós do interior do laboratorio.	62
4.32	Exemplo dunha <i>Stevenson screen</i> [45].	63
4.33	Modelo de <i>Stevenson screen</i> utilizado [46].	63
4.34	Representación gráfica dos elementos utilizados e a súa interacción.	64
4.35	Exemplo dunha <i>Comunicación por bus I2C</i> [45].	65
4.36	Exemplo de gráficos dispoñibles en Grafana [50].	72
4.37	Exemplo de alerta en Grafana [51].	73
5.1	Resultado da proba de funcionamento dos sensores BH1750 e BME280.	78
5.2	Resultado da proba de funcionamento do sensor CSS 811.	78

5.3	<i>Dashboard</i> de visualización deseñado ao completo.	79
5.4	Sección “Condicións ambientais” do <i>dashboard</i> de visualización deseñado. .	79
5.5	Sección “Presenza/Apertura/Aire” do <i>dashboard</i> de visualización deseñado.	80
5.6	Gráfica de visualización do nivel de luminosidade monitorizado.	80
5.7	Visualización dun único nivel de luminosidade.	80
5.8	Exemplo de valores límite para o cambio de cor na representación grafica dos datos.	81
5.9	Representación das variables relativas á calidade do aire en cor verde. . . .	81
5.10	Representación das variables relativas á calidade do aire en cor amarelo. . .	81

Acrónimos

AMQP Advanced Message Queuing Protocol.

API Application Programming Interface.

CeDRI Research Centre in Digitalization and Intelligent Robotics.

CoAP Constrained Application Protocol.

EAGLE Easily Applicable Graphical Layout Editor.

HTTP Hypertext Transfer Protocol.

IoT Internet of Things.

MQTT Message Queue Telemetry Transport.

PIR Passive Infrared Sensor.

PNG Portable Network Graphics.

SQL Structured Query Language.

STOMP Streaming Text Oriented Messaging Protocol.

TCP Transmission Control Protocol.

Chapter 1

Introducción

1.1 Encuadramento

A eficiencia enerxética é unha das cuestións que condicionan o avance da sociedade cara un desenvolvemento ético, sustentable e respetuoso co medioambiente. Non unicamente á eficiencia enerxética no ámbito industrial, senón en todos os ámbitos e sectores. O factor económico tamén é un dos motivos polos que se busca unha maior eficiencia e aforro, independentemente de que se trate dunha das máis grandes empresas do mundo ou dunha humilde familia. Os custos asociados ao consumo de enerxía, eléctrica ou calorífica por exemplo, condicionan a saúde económica de calquera compañía ou núcleo familiar.

Na camiño da eficiencia atópanse distintos problemas. Os custos de mantemento e reparación de instalacións antigas, o esforzo económico que supón a modernización dos sistemas existentes, ou directamente a mala xestión dos recursos, son algunhas cuestións a afrontar. Con todo, a Cuarta Revolución Industrial ou Industria 4.0 ten, coma un dos seus principios, o desenvolvemento sustentable e eficiente, polo que se prevee que cada vez se estea máis preto da consecución deste obxectivo.

Exemplos de ramas do coñecemento que converxen no ámbito da Industria 4.0 son a fabricación aditiva, o Internet das Cousas e a aplicación das novas técnicas de computación para o análise de datos (Big Data) e a creación de sistemas intelixentes. Os avances

producidos nunha destas novas tecnoloxías condiciona e posibilita o desenvolvemento das demais, polo que se debe entender a Industria 4.0 coma un todo que se diversifica e evoluciona en conxunto, aínda que a relación entre algúns dos conceptos non se aprecie a simple vista.

Esta tese é un exemplo representativo da necesidade actual de coñecer e aplicar unha ampla variedade destas novas tecnoloxías para levar a cabo un proxecto no ámbito da Industria 4.0. Á hora de plantexar un proxecto para a consecución dun *smart lab* surxen unha serie de cuestións que poden ser solucionadas mediante a aplicación de técnicas derivadas destas novas ramas de coñecemento. A modo de exemplo:

- A sensorización e a comunicación da información é posible grazas a novos sensores e controladores *low cost* baseados nas tecnoloxías Internet of Things (IoT).
- As técnicas de análise son aplicadas aos datos obtidos, xerando sistemas intelixentes que aprenden e toman as mellores decisións posibles de cara á eficiencia e ao aforro enerxético.
- O uso da impresión 3D para a fabricación, de forma barata, rápida e personalizada, de elementos necesarios para a infraestrutura da instalación.

1.2 Obxectivos

Os obxectivo xeral da presente tese é o desenvolvemento da infraestrutura e da implementación física dun proxecto de *smart lab* enfocado cara a eficiencia enerxética no Laboratorio de Investigación e Innovación (L2I) do Research Centre in Digitalization and Intelligent Robotics (CeDRI), situado na planta baixa da Escola Superior de Tecnoloxía e Xestión do Instituto Politécnico de Bragança.

Os obxectivos específicos plantexados para a consecución do obxectivo principal son:

- Discusión de cuestións relacionadas coa conexión entre as condicións ambientais nunha vivenda/zona de traballo e o seu efecto na eficiencia enerxética.

- Discusión relativa ao *smart buiding* e á aplicación das técnicas derivadas deste movemento, baseadas no compromiso entre a eficiencia enerxética e o comfort dos individuos.
- Análise das tecnoloxías comerciais dispoñibles para o desenvolvemento do proxecto.
- Deseño e instalación de sistemas *low cost* de sensorización das condicións ambientais no laboratorio mediante o uso de tecnoloxías IoT e fabricación aditiva (impresión 3D).
- Deseño dun sistema de monitorización e visualización gráfica das condicións ambientais a partir dos datos obtidos.
- Deseño dun sistema de alertas que posibilite a actuación dos individuos de cara á eficiencia enerxética.

As contribucións esperadas son:

- Aforro e eficiencia enerxética. Reducción dos consumos innecesarios e aproveitamento dos recursos.
- Promover a aplicación das tecnoloxías IoT para o desenvolvemento de sistemas personalizados de sensorización e monitorización *low cost*.
- Promover o uso da impresión 3D, non só para os procesos de prototipado, senón para a obtención de solucións personalizadas para cuestións de infraestrutura. Por exemplo: deseño e fabricación de pezas customizadas ante a dificultade da obtención de elementos comerciais válidos.

1.3 Estructura do Documento

O resto do presente documento está organizado da seguinte forma:

- No capítulo 2 descríbese o denominado Estado do Arte. Contextualízase o concepto de eficiencia enerxética nos edificios, definindo os conceptos de *smart building*, Internet das Cousas e ambientes intelixentes. Tamén se comentan as tecnoloxías aplicadas nestes ámbitos.
- O capítulo 3 describe o problema plantexado e a solución proposta, comentando as estratexias seguidas.
- No capítulo 4 coméntase o traballo de implementación das estratexias plantexadas no caso de estudo, especificando as dificultades atopadas e as solucións levadas a cabo.
- O capítulo 5 consiste nun análise dos resultados obtidos, mostrando o funcionamento final do sistema.
- Finalmente, o último capítulo presenta as conclusións do proxecto e as posibles direccións a seguir en traballos futuros.

Chapter 2

Estado do arte

Este capítulo trata o ámbito da eficiencia enerxética na construción e a tendencia seguida actualmente, o *smart building* e os ambientes intelixentes. Coméntanse tamén solucións existentes de cara a aplicación das técnicas necesarias para a consecución dun entorno intelixente (sistemas de sensorización, xestión e control e actuación).

2.1 Eficiencia enerxética en edificios

A enerxía é un elemento básico no desenvolvemento económico e social. O aumento do consumo (Figura 2.1), como consecuencia do crecemento económico e da tendencia a satisfacer unha maior cantidade de necesidades, aumenta a urxencia da integración de aspectos medioambientais e sustentables na política enerxética.

Debido a múltiples razóns, como son o carácter limitado das fontes de enerxía tradicionais, o aumento dos prezos ou o impacto medioambiental, o uso óptimo dos recursos e a redución dos consumos, son dúas cuestións prioritarias no ámbito actual da enerxía. Para comprender totalmente a situación presente é necesario engadir, á cada vez maior concienciación medioambiental da sociedade, as políticas que as administracións públicas están a establecer en forma de incentivos económicos, subvencións e imposicións normativas en materia de eficiencia enerxética. Estas ideas son tratadas dende o punto de vista industrial en España [2] [3] e Portugal [4].

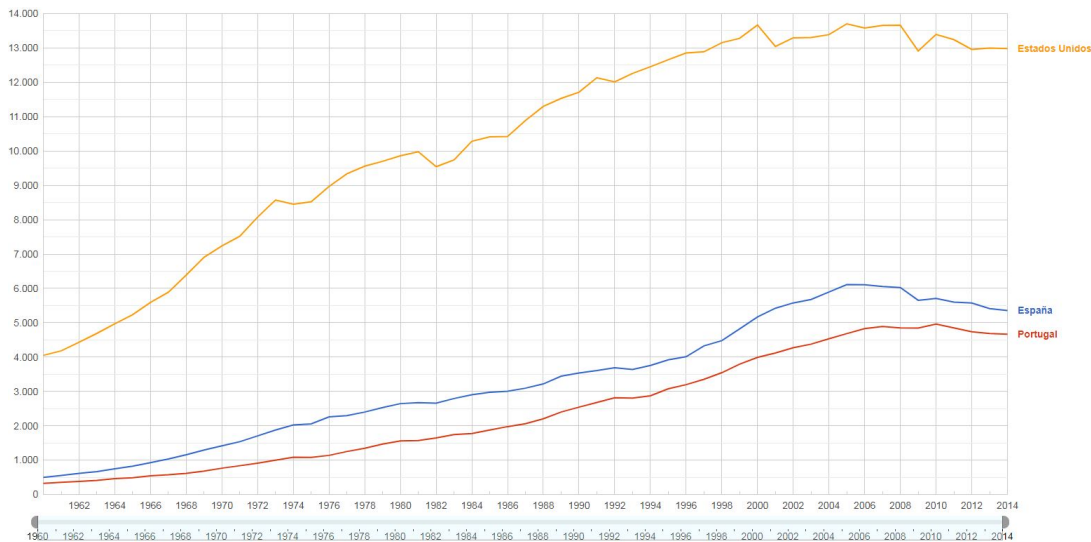


Figure 2.1: Comparativa do consumo de electricidade (kWh) per cápita entre Estados Unidos, España e Portugal [1].

Defínese eficiencia enerxética como a relación que existe entre os resultados obtidos e os recursos, neste caso enerxéticos, utilizados para a súa consecución. A súa aplicación práctica consiste na implementación de medidas que minimizan as perdas de enerxía e axustan os consumos ás necesidades reais do usuario.

O impacto ambiental dun edificio garda unha estreita relación coa cantidade de recursos consumidos e as emisións provocadas pola actividade do mesmo durante o seu ciclo de vida. As consideracións que se deben realizar á hora de avaliar enerxeticamente un edificio son:

- Uso/consumo de auga.
- Uso/consumo de enerxía.
- Uso de terreo con valor ecolóxico.
- Uso/consumo de materiais escasos.
- Emisións atmosféricas.
- Impactos ecolóxicos (entorno e paisaxe).

A pesar da existencia de sistemas de control, regulación e análise de consumo convencionais, a crecente importancia da eficiencia enerxética provoca unha nova perspectiva de eficacia e racionalidade.

Para lograr os obxectivos marcados polas organizacións internacionais como a Unión Europea en cuestións de eficiencia enerxética é necesario fomentar o aforro mediante medidas pasivas e activas na edificación, que complementen e melloren os sistemas xa existentes. Como consecuencia desta necesidade, e grazas ao desenvolvemento de innovadoras tecnoloxías, nace o smart building.

2.2 Smart building e IoT

O smart building consiste nun movemento do ámbito da construción que pretende optimizar diferentes aspectos relativos ás edificacións, xa sexan oficinas, vivendas ou industrias, e mellorar o desenvolvemento das tarefas alí realizadas. Este tipo de construcións integran solucións baseadas nas novas tecnoloxías, tanto no seu proceso de edificación, coma en todos os aspectos do seu funcionamento diario.

Os obxectivos do smart building, dende un punto de vista enerxético, son:

- Uso óptimo e aforro de recursos.
- Redución dos custos de operación e mantemento.
- Xeración de recursos e autoabastecemento.

A estudo dos perfís de consumo, a automatización das instalacións para o aproveitamento dos recursos naturais dispoñibles, e a monitorización do ambiente (temperatura, humidade, luminosidade, etc) son algunhas das medidas implementadas no smart building para optimizar a toma de decisións enerxéticas. Esta toma óptima de decisións é realizada de forma autónoma polos sistemas de control, sen intervención humana, polo que se consideran sistemas intelixentes.

Neste contexto, en [5] os autores propoñen unha abordaxe que consiste na aplicación de técnicas de Soft Computing para determinar os parámetros relevantes do consumo

enerxético en edificios e xerar modelos predictivos, co obxectivo de definir estratexias que optimicen eses consumos.

Outra proposta semellante [6] é o desenvolvemento dun sistema de regras obtido mediante técnicas de *data mining*, que utilizan información monitorizada mediante unha rede de sensores despregada no edificio, e a aplicación dos coñecementos de expertos en eficiencia enerxética. O resultado é un conxunto de normas ou regras que forman parte dun sistema de toma de decisións autónomo para a optimización do consumo enerxético e a detección de anomaías en *smart building*.

Exemplos de decisións enerxéticas autónomas e funcionalidades do smart building:

- Xestión dos sistemas de climatización.
- Apertura e peche de xanelas, portas, persianas.
- Regulación da intensidade lumínica artificial en relación coa natural dispoñible.
- Sistemas de alarmas e avisos ao usuario en relación aos consumos enerxéticos.

2.2.1 Ambientes intelixentes

Unha das citas máis comúns relativas a este concepto atopámola na definición proporcionada por A.Stevenston e S.Wright [7]: *Os ambientes intelixentes son sistemas nos que a computación é utilizada para mellorar as actividades comúns*. Enténdense así os ambientes intelixentes coma entornos que gardan unha estreita relación coa aplicación do smart building.

Xeralmente, dada esta definición, preténdese relacionar os ambientes intelixentes coa domótica, máis este é un concepto máis avanzado e ambicioso. Mentres que a domótica únicamente busca a automatización do entorno, os ambientes intelixentes fan uso dunha lóxica que aprende e mellora a estancia dos habitantes. Nestes espazos os ocupantes son asistidos por unha rede de elementos co obxectivo de lograr unha maior comodidade, seguridade e sustentabilidade. A eficacia da aplicación desta tecnoloxía no contexto do

aforro enerxético é comprobada en [8], onde se realiza unha comparación do consumo de recursos nunha aula con e sen o uso das tecnoloxías IoT.

Neste contexto, en [9] os autores propoñen a creación dunha solución IoT para a monitorización dun conxunto de edificios educacionais co obxectivo de mellorar a súa eficiencia enerxética. O sistema desenvolvido está baseado en tecnoloxías *open-source* e permite o seu uso con fins educacionais ou para a xestión dos recursos enerxéticos dos edificios. O funcionamento do sistema é evaluado nun entorno real en termos de escalabilidade e resposta.

Outros abordaxes son presentados en [10], [11] e [12], nos que os autores desenvolven solucións de *smart lab* onde en tecnoloxías IoT (módulos ESP8266 e Arduino e *softwares* como o Node-Red) e ambientes intelixentes teñen un papel esencial. Mediante aplicacións de tecnoloxía móvil e unha rede de sensores, monitorízanse os parámetros ambientais e as actividades levadas a cabo nos laboratorios, incluíndo os consumos de enerxía e o uso das infraestrutura dispoñibles, facendo posible un incremento do confort e da eficiencia enerxética.

2.2.2 Monitorización e control das condicións ambientais

Nos entornos desenvolvidos no *smart building* existen dous tipos de tarefas básicas: as relacionadas coa obtención de información é a monitorización, e as relacionadas co control do sistema. As primeiras son as responsables de adquirir datos do ambiente, de forma que o sistema de control coñeza o estado do entorno. As segundas teñen o papel de execución e actuación, modificando as condicións e o estado do ambiente de cara á consecución de determinados obxectivos. O desenvolvemento destas tarefas está condicionado pola comunicación existente entre os diferentes dispositivos da instalación, ámbito no que as tecnoloxías IoT adquiren unha notable importancia.

O Internet das Cousas (IoT polas súas siglas en inglés) é un dos pilares básicos do movemento *smart building*, dotando de total conexión tanto a persoas como a dispositivos. A cantidade de elementos conectados ao Internet aumenta progresivamente, automóviles,

electrodomésticos, reloxos, polo que as posibilidades de aplicación do IoT tamén se incrementan. Entre os seus ámbitos de aplicación encóntranse a saúde, o confort no traballo ou vivenda ou o medioambiente. Dende o punto de vista deste último, pódese asegurar que os sistemas IoT son unha peza clave na integración dos recursos renovables e no seu aproveitamento en todos os ámbitos da vida diaria, favorecendo a sustentabilidade do desenvolvemento e a redución da pegada de carbono da sociedade [13].

Actualmente, algunhas das empresas tecnolóxicas máis importantes a nivel global están a desenvolver novos dispositivos e incluso protocolos de comunicación. A continuación cítanse varios exemplos:

- Samsung SmartThings. Solución IoT proposta por Samsung que consiste na conexión de sensores a un HUB central de monitorización [14].
- Google Brillo e Google Weave. Google Brillo é un sistema operativo baseado en Android e que á súa vez é Open Source especialmente deseñado para a comunicación IoT. Google Weave é o protocolo de comunicación entre dispositivos IoT, smartphones e a nube utilizado por Google Brillo.
- Apple HomeKit. Solución da marca Apple baseada nunha liña de produtos compatibles entre si, xestionados mediante o uso dunha aplicación propia [15].

Para poder aplicar as técnicas mencionadas na sección 2.2.1 son necesarios:

- Un sistema que permita obter información e monitorizar o que sucede no entorno. Para isto será necesaria unha rede de sensores que non interfira coas actividades levadas a cabo polos habitantes do espazo. A información recabada pode ser relacionada co estado físico dos elementos do entorno, coma abrir ou pechar portas e xanelas, ou información ambiental, por exemplo: a temperatura e a humidade.
- Un sistema con capacidade de cálculo e aprendizaxe, que tome decisións baseadas na información do entorno e xestione os recursos da rede.
- Elementos que leven a cabo fisicamente as accións consecuencia das decisións tomadas.

- Un medio de comunicación entre os elementos da rede.

Monitorización

Para levar a cabo a monitorización son necesarios elementos que obteñan información do ambiente. Un sensor é definido pola Real Academia Galega coma un “dispositivo que rexistra as variacións dunha magnitude física” [16], polo que son imprescindibles para captar datos do entorno e transferirlos aos dispositivos de xestión e control. Estes elementos son tratados con maior detalle na sección 2.3.

Control

Algúns exemplos básicos das accións xestionadas nos ambientes intelixentes para controlar as condicións ambientais, aplicables tanto no campo industrial coma no doméstico, son:

- Ámbito da climatización.
 - Evitar o uso dos sistemas de calefacción para manter temperaturas excesivamente elevadas.
 - Alertar do uso dos sistemas de calefacción en situacións ineficientes. Por exemplo, casos nos que as portas ou xanelas estean abertas.
- Sistemas de iluminación.
 - Apagado dos sistemas de iluminación en casos onde non exista presenza de persoas.
 - Control do nivel de iluminación, evitando situacións onde a intensidade da mesa sexa innecesariamente elevadas ou excesivamente reducida.
 - Control do nivel de iluminación existente no plano de traballo, de forma que estea dentro dos niveis marcados pola lexislación.
- Sistemas de seguridade.

- Control da calidade do aire co obxectivo de detectar gases tóxicos e ventilación autónoma de espazos para evitar perigos.

2.3 Smart devices e tecnoloxías

Os elementos que forman unha rede de IoT dentro dun ambiente intelixente poden clasificarse en tres categorías: sensores, controladores e actuadores. Malia que poden ser atopados de forma individual, xeralmente a instalación está formada por diferentes nós, que, á súa vez, están formados por conxuntos de sensores e actuadores. Os controladores serven como interfaz de comunicación entre os nós e demais elementos (bases de datos, por exemplo), aínda que tamén poder ter autonomía para a toma de decisións.

Pode considerarse como outro elemento máis da rede a forma de conexión entre os diferentes elementos, o que se coñece como a “topoloxía” da rede, xa que o funcionamento do sistema vese condicionado completamente por ela.

2.3.1 Sensores

Os sensores son un factor clave no éxito do IoT, máis non se trata de sensores convencionais que converten variables física nunha sinal eléctrica. Os sensores utilizados en IoT caracterízanse por unha serie de propiedades:

- Compoñentes low cost, permitindo a instalación dun gran número de unidades.
- Pequeno tamaño, para non interferir no desenvolvemento das actividades.
- Sempre que sexa posible deben permitir unha conexión inalámbrica.
- Consumo reducido de enerxía.
- Robustos, que requiran pouco mantemento independentemente das condicións de traballo.

- Capacidade para calibrarse ou para aceptar comandos de calibración de forma inalámbrica.
- Capacidade para ser identificados na rede.
- Preprocesamento da información, evitando elementos intermedios e cargas innecesarias nos elementos de cálculo.

A continuación, unha posible clasificación dos sensores existentes (Figura 2.2), segundo a función que realizan.

- Seguridade.
 - Sensores de presenza. Detectan movementos físicos.
 - * O sensores máis comúns son os Passive Infrared Sensor (PIR), que detectan a radiación infravermella emitida por calquera corpo a máis de 0 Kelvin.
 - * Detector de microondas. Baseado no efecto Doppler. O seu problema é a súa elevada probabilidade de xerar una falsa alarma.
 - * Sensor mixto. Combina ambas tecnoloxías.
 - Sensores de rotura de cristais e apertura de portas e xanelas. Sensores baseados en magnetismo que detectan a presenza ou a ausencia dun campo magnético.
 - Detectores de vibración/sísmicos. Detectan vibracións xeradas por ferramentas de ataque coma rotopercutoras ou lanzas térmicas cando se produce o corte dun material duro (aceiros e blindaxes sistéticos).
 - Detectores de fumes/incendios.
 - * Óptico. Funciona mediante unha célula fotoeléctrica e un raio de luz. Se o fume interrompe o paso da luz o sensor dispara a alarma.
 - * Iónico. Ionízase o aire dentro do sensor e provócase unha corrente eléctrica. Se o fume dificulta o paso da corrente, salta a alarma.
 - Detectores de gas. Indican a presenza no ambiente dun gas específico ou incluso a concentración do mesmo. Son máis eficientes en espazos pequenos.

- * Sensores que funcionan por absorción, reaccións químicas e de contacto co gas.
- * Sensores que funcionan por emisións infravermellas e ultrasónicas.
- Sistemas de climatización.
 - Sensores de temperatura. Funcionan aproveitando as características dos materiais condutores e semicondutores, que varían a súa resistencia eléctrica en función da temperatura ambiente.
 - Sensores de humidade. Baséanse en que a condutividade eléctrica é proporcional á humidade, polo que a presenza da mesma a condutividade varía.
 - Sensores de radiación solar (piranómetros).
 - * Térmicos. Formado por unha termopila que posúe unha serie de termopares, dentro dun espazo con dúas semiesferas de cristal. O fluxo de calor orixinado pola radiación transmítese á termopila, que xera unha tensión proporcional á diferenza de temperatura entre os metais dos termopares.
 - * Fotovoltaicos. A radiación incide sobre un fotodiodo e, mediante a lectura do voltaxe, permite coñecer os datos de radiación.
 - Sensor de presión.
 - * Presión atmosférica. A presión deforma unha membrana que, á súa vez, deforma un elemento piezoeléctrico, que varía a súa resistencia ao paso da corrente eléctrica como consecuencia desta deformación.
 - * Presión absoluta ou diferencial. Transforman a forza por unidade de superficie en voltaxe. Moi utilizados en procesos industriais e sistemas de ensaios.
 - Sensores de velocidade e dirección do vento.
 - Sensores de pluviometría.
- Sensores de consumo.

- Sensor de caudal. Mide a cantidade de líquido a través dun conducto.
- Cuantificador do consumo eléctrico. Permite coñecer o gasto eléctrico que ten una zona da rede eléctrica en tempo real.
 - * Individual. Recolle medidas do consumo dun electrodoméstico ou da mesma toma.
 - * Global. Obtén os datos do consumo de todo un edificio ou dunha zona específica. Instálase no cadro eléctrico para monitorizar todos os consumos.

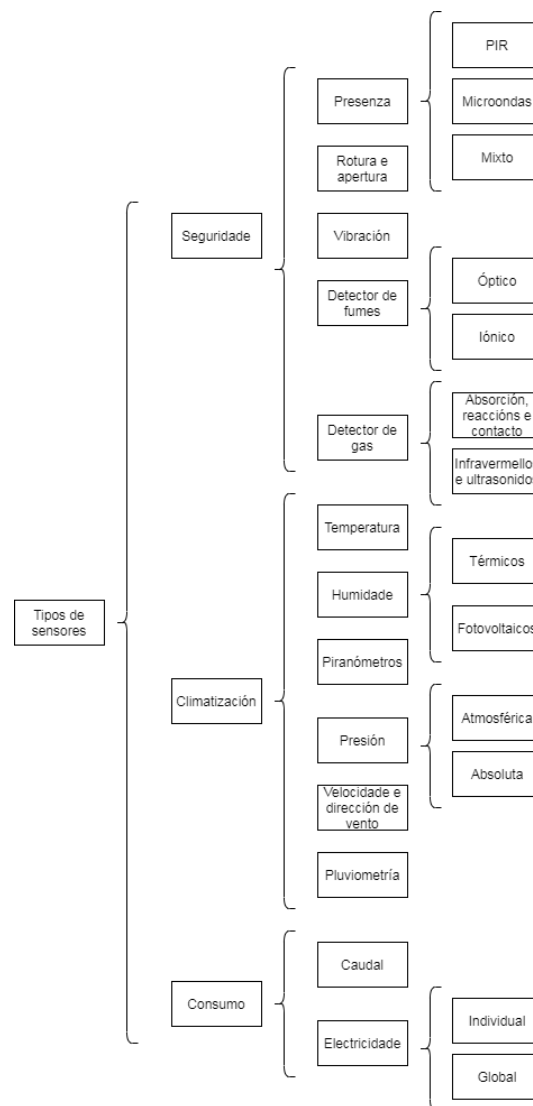


Figure 2.2: Clasificación dos tipos de sensores segundo a súa función.

2.3.2 Controladores

Son o elemento que recibe e asimila a información obtida pola rede de sensores e toma decisión en base a ela, comunicando aos elementos actuadores as accións a realizar en consecuencia. Existen diferentes clases de dispositivos.

- System-On-Chip (SOC). Controladores embebidos de 8 bits. Son os controladores de menor tamaño.
 - Non é habitual que teñan sistema operativo.



Figure 2.3: Ejemplo de System-On-Chip

- Dispositivos con arquitectura de 32 bits.
 - Chips de Atheros e ARM (Figura 2.4). Xeralmente baseados en plataformas de Linux embebido, como OpenWRT.

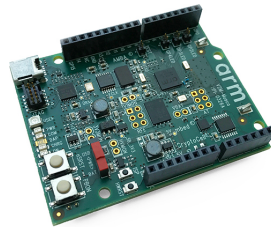


Figure 2.4: Controlador ARM [17].

- Arduino Zero e Arduino Yun. Non posúen sistema operativo.
- Ordenador en placa reducida (Single-Board-Computer, SBC). Arquitectura de 32 e 64 bits. Poden utilizar diferentes sistemas operativos, como Linux ou Android.
 - Raspbery Pi (Figura 2.5).



Figure 2.5: SBC Raspberry Pi [18].

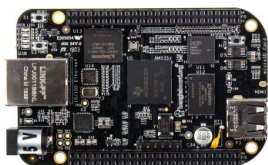


Figure 2.6: SBC BeagleBone [19].

- BeagleBone (Figura 2.6).
- Microcontroladores Industriais e Soft-PLC. O mundo industrial estase a incorporar á correndo IoT coa denominación Industrial Internet of Things. Algúns exemplos son:
 - PLC.
 - * Controllino. Solución baseada no microcontrolador Atmel's ATmega328 para proxectos de Arduino.
 - * Industruino e Arduino Winkhel. PLCs industriais baseados en Arduino.
 - Soft-PLC.
 - * CODESYS Control for Raspberry Pi SL.

Móstrase a clasificación comentada na Figura 2.7.

2.3.3 Actuadores

Os actuadores son os dispositivos finais da rede, encargados de executar as decisións tomadas polos sistemas de control e xestión dos ambientes intelixentes. A súa función

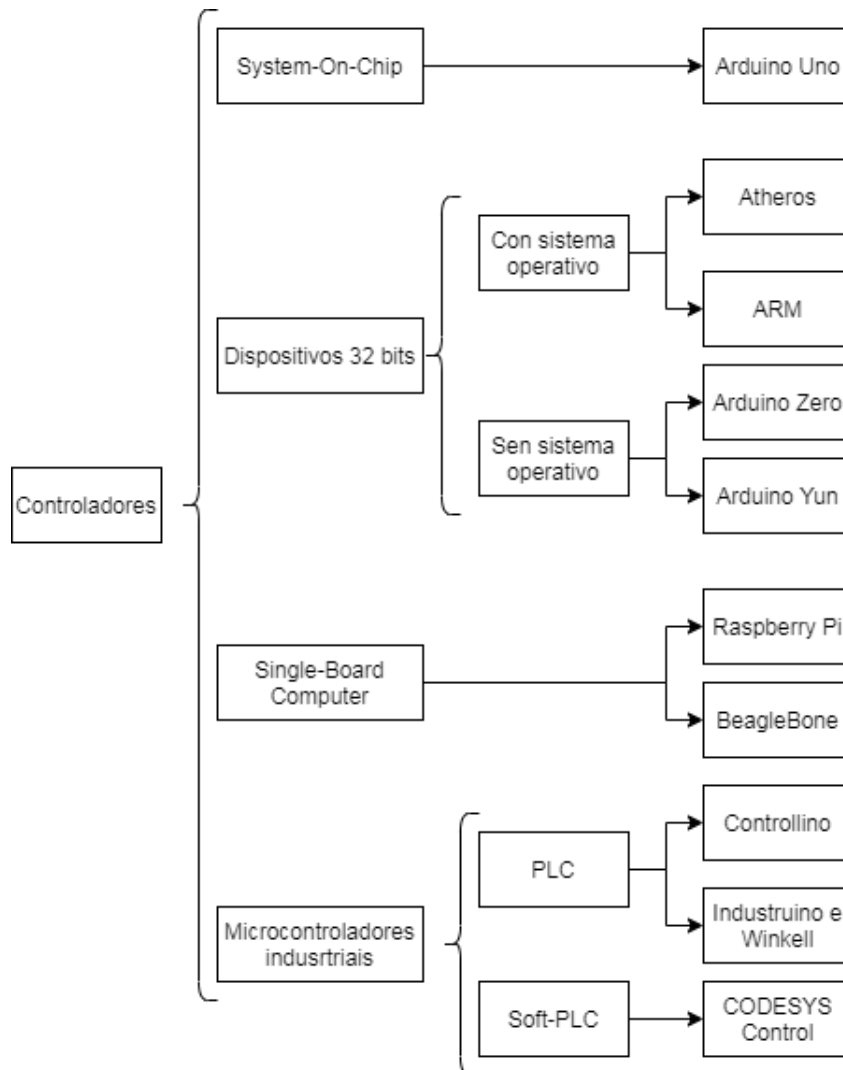


Figure 2.7: Clasificación dos controladores de IoT.

consiste na xeración dun efecto físico sobre un sistema co obxectivo de actuar sobre él ou realizar funcións auxiliares. Exemplos serían un motor encargado de subir e baixar a persiana dunha habitación ou unha válvula encargada de permitir ou impedir o paso de auga aos sistemas de quencemento, actuando sempre como consecuencia dunha instrución dada polo controlador.

Existen varios tipos de actuadores:

- Hidráulicos. Utilizan a presión dun líquido para realizar un movemento mecánico. Utilizados xeralmente en aplicacións que requiren potencia.

- Neumáticos. Utilizan aire comprimido a alta presión para realizar un movemento mecánico.
- Eléctricos. Transforman enerxía eléctrica nun movemento mecánico.

2.3.4 Comunicación en IoT

As comunicacións dentro das redes de dispositivos IoT teñen unha serie de condicionantes en termos de confort, seguridade e xestión de enerxía. A capacidade de conexión, por un medio físico como Ethernet ou inalámbrico, que presentan as tecnoloxías do Internet das Cousas permite unha revolucionaria cantidade de posibilidades. Sen embargo, a implementación destes sistemas está condicionada por unha serie de cuestións, como son a falta de estándares e a ciberseguridade [20].

Topoloxías

Unha clasificación das distintas topoloxías posibles a aplicar a una rede de comunicación entre elementos IoT sería:

- Topoloxía punto a punto. A máis sinxela. Cada canle de datos comunica unicamente a dous nós.
- En entrela. Un nó é o encargado de xestionar as comunicacións e coordinar ao resto, que lle transmiten toda a información.
- En maia (*Mesh*). Utilízanse nós enrutadores que complementan a un nó coordinador, que transmiten información entre eles ou aos nós finais.
- Árbol de clústers. Similar á topoloxía en maia.
- Conexións independentes de cada un dos nós coa base de datos, sen facer uso dun nó coordinador.

Protocolos de comunicación

Un protocolo de comunicación consiste nunha serie de normas definidas para posibilitar a comunicación e comprensión entre diferentes dispositivos.

No caso das tecnoloxías IoT, trátase de protocolos M2M (*Machine-to-Machine*) baixo unha serie de condicionantes.

- O protocolo debe permitir a compatibilidade do maior número de elementos posible. Poden requirir poucos recursos (sensores/actuadores) ou moitos (bases de datos e servidores).
- Sistema escalable.
- Pouca dependencia entre os dispositivos. Que un erro nalgún condicione o menos posible o funcionamento dos demáis.
- Escasa capacidade de procesado requerida. Moitos elementos serán dispositivos *low cost* con pouca capacidade de cálculo.
- O protocolo debe permitir a compatibilidade do maior número de elementos posible.
- Permitir comunicacións simultáneas e de resposta rápida, facilitando a comunicación en tempo real.

Enuméranse a continuación algúns exemplos de protocolos de comunicación M2M dispoñibles para IoT.

- Message Queue Telemetry Transport (MQTT). Actúa sobre Transmission Control Protocol (TCP). É un protocolo lixeiro e sinxelo de implementar. Apropiado para elementos de baixa potencia.
- Advanced Message Queuing Protocol (AMQP). Deseñado para aplicacións corporativas que esixen elevados rendementos e baixas latencias. Non é apropiado para redes formadas por dispositivos con poucos recursos.

- Constrained Application Protocol (CoAP). Pensado para elementos con baixa capacidade de procesamento. Protocolo cliente/servidor similar ao Hypertext Transfer Protocol (HTTP).
- Streaming Text Oriented Messaging Protocol (STOMP). Protocolo sinxelo que usa HTTP e mensaxes de texto, buscando aumentar a interoperabilidade.

Chapter 3

Solución *smart lab* para monitorización enerxética con IoT

Neste capítulo descríbese ó caso de estudo e a solución proposta, así como as estratexias adoptadas para alcanzar os obxectivos do proxecto, definidos na sección 1.2, que é o desenvolvemento dunha solución *smart lab* de cara á monitorización do entorno en busca da eficiencia enerxética.

A idea básica a levar a cabo é o despregamento dunha rede de sensores baseados na tecnoloxía IoT no Laboratorio de Investigación e Innovación (L2I) do Research Centre in Digitalization and Intelligent Robotics (CeDRI), que permitirá a xestión dos recursos enerxéticos de forma eficiente. A finalidade é a adquisición de información relativa ao estado do entorno e ás condicións ambientais (temperatura, luminosidade, presenza de individuos, etc.), xa que teñen unha relación, directa ou indirecta, co consumo de enerxía. Por exemplo: a luminosidade artificial pode ser regulada en función da luz natural dispoñible e a presenza de persoas ou a detección dunha temperatura inesperadamente elevada nun día de inverno pode xerar un aviso para reducir a temperatura fixada no sistema de quencemento, evitando consumos innecesarios.

A solución IoT desenvolvida pretende ser escalable e replicable, é dicir, non pretende ser un proxecto de uso limitado no Laboratorio de Investigación e Innovación (L2I). A

finalidade é a súa aplicación en entornos similares, buscando os mesmos obxectivos que no caso concreto da presente tese, fomentando o desenvolvemento de solucións *smart lab* en diferentes espazos.

3.1 Caso de estudo

O entorno para o cal se desenvolve o proxecto é o Laboratorio de Investigación e Innovación (L2I) do Research Centre in Digitalization and Intelligent Robotics (CeDRI), situado na planta baixa da Escola Superior de Tecnoloxía e Xestión do Instituto Politécnico de Bragança. Este é un centro de investigación aplicada interdisciplinar, formado por postos de traballo individuais e equipamento e infraestruturas para a investigación en robótica, automatización, visión artificial e tecnoloxías IoT.

O laboratorio está formado por dous espazos, como se observa na Figura 3.1.

- Unha zona principal de maior superficie na se que se atopan infraestruturas utilizadas para a investigación (robots colaborativos entre outros elementos) e os lugares de traballo individual equipados con computadoras e periféricos.
- Un cuarto de menor superficie ao que se accede desde a zona principal que serve como cuarto de reunións.

As tres zonas das paredes denominadas na Figura 3.1 como “P1”, “P2” e “P3” están formadas por xanelas e portas de cristal completamente transparente, o que aporta moita luminosidade natural ao entorno. Isto permite establecer un sistema de control das fontes de luz artificial utilizadas en función do aporte de iluminación recibido do propio ambiente. Tamén se pretende controlar os sistemas de iluminación en función da presenza de persoas dentro do laboratorio e, nun futuro, instalar persianas autónomas, polo que o movemento das mesmas poderá ser xestionado por un sistema intelixente.

Ambas zonas están equipadas con sistemas de climatización, polo que unha parte do consumo eléctrico do laboratorio é destinada ao control da temperatura. Este feito motiva

o control das condicións de humidade e temperatura en ambas zonas, tendo en conta as propias condicións do ambiente no exterior do laboratorio.

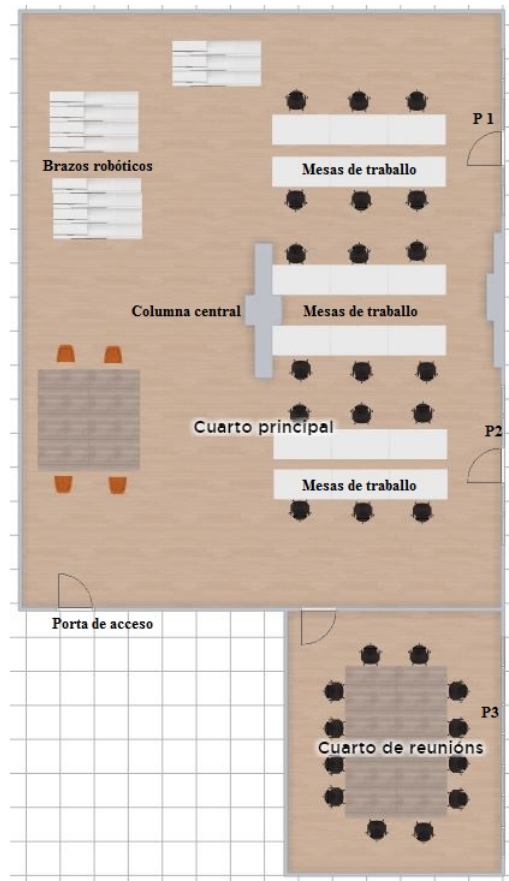


Figure 3.1: Croquis do laboratorio de Investigación e Innovación (L2C) do CeDRI.

3.2 Requisitos do sistema

O deseño e a instalación do sistema de monitorización do entorno, é dicir, da rede de sensores e elementos de control, están suxeitos a unha serie de requisitos. Coméntase neste apartado unha clasificación dos mesmos, sendo os apartados 3.3 e 3.4 máis específicos en canto á metodoloxía seguida para a realización desde proxecto.

3.2.1 Requisitos técnicos

A rede de sensores debe permitir unha instalación segura, fiable e funcional. É de gran importancia que o sistema pase desapercibido, sen alterar e condicionar as actividades levadas a cabo polos habitantes do entorno. Todo isto implica que os diferentes módulos despregados sexan de pequeno tamaño, pero resistentes, asegurando o correcto funcionamento do sistema. Sempre que sexa posible, a comunicación entre os elementos da rede deberá ser inalámbrica, sen fíos, simplificando a instalación e reducindo o impacto visual e espacial do sistema no espazo.

Os módulos instalados que non poidan ser alimentados en todo momento pola rede eléctrica do entorno deben ter a capacidade de autoabastecerse enerxéticamente, como por exemplo con enerxía solar.

Debe asegurarse en todo momento a comunicación entre os diferentes nos da rede co sistema de control, evitando, na medida do posible, a perda de información.

As comunicacións deben ser realizadas dentro duns tempos determinados. Un retardo excesivo no envío ou na recepción da información fai que esos datos non sexan relevantes, xa que non serían representativos do entorno.

O período de mostraxe dos datos tamén debe ser analizado. A frecuencia coa que se realizan as medidas das variables pode cambiar dependendo da magnitude monitorizada. Hai variables que cambian lentamente ao longo do tempo, como a temperatura, e permiten períodos de mostraxe maiores. Pola contra, outros parámetros poden modificarse radicalmente nun instante, como as variables dixitais todo ou nada. Unha opción para estas variables é a detección dun cambio no seu estado en lugar dunha monitorización periódica.

3.2.2 Requisitos funcionais

O sistema está formado por dúas partes diferenciadas. Nun lado está a infraestrutura física formada pola rede de sensores e sistemas de control en cada un dos nós instalados e, noutro lado, a aplicación software que permite visualizar a información e exerce como

sistema de control e xestión do ambiente intelixente. Algúns exemplos destes requisitos son:

- Requisitos funcionais da infraestrutura.
 - Os nós deben poder solicitar acceso á rede.
 - Os nós deben ser quen de recoller a información dos sensores e enviarlla ao sistema de control ou á base de datos.
- Requisitos da aplicación web:
 - Permite visualizar os datos de forma textual ou gráfica.
 - Debe ser posible administrar un sistema de alertas para monitorizar eventos.

3.2.3 Requisitos de datos

Enuméranse a continuación unha serie de posibles requisitos aplicables ao ámbito dos datos nun sistema de monitorización e control dun entorno.

- Identificación do nó e sensor orixe da información.
- Valor numérico recollido e unidades nas que se realiza a medición (°C por exemplo).
- Data e hora da medición, recollida e almacenamento da información.
- En caso de tratarse dunha mensaxe enrutada é necesario poder identificar ao nó enrutador.
- En caso de alertas:
 - Data e hora de inicio.
 - Data e hora de fin.
 - Causa da alerta.
 - Usuarios involucrados.

- Usuarios con acceso para a xestión do sistema:
 - Identificación.
 - Data e hora de rexistro.
 - Contacto.
 - Permisos de xestión.

3.3 Estratexia para desenvolvemento e instalación de sensores

Nesta sección trátase a estratexia seguida para deseñar o sistema de sensorización encargado de recoller a información ambiental do entorno. A instalación consiste nunha serie de nós distribuídos por todo o espazo a monitorizar. Cada nó está constituído por un circuito impreso no que se ubican os diferentes sensores e un microcontrolador conectado de forma inalámbrica á base de datos encargada de almacenar toda a información. Os nós non son iguais entre sí, tendo cada un os sensores que se consideren necesarios dependendo da ubicación física do nó e da funcionalidade desexada. Os detalles da instalación son tratados especificamente no capítulo 4.

Os tipos de sensores escollidos para o sistema son:

- Sensor de temperatura. Variable básica en cuestións relativas ao confort dos individuos e desenvolvemento de experimentos, así como para o funcionamento e mantemento do equipamento. A temperatura ambiente, tanto no interior como no exterior da estancia, condiciona o uso dos sistemas HVAC (calefacción, ventilación e aire acondicionado), tendo un gran impacto no consumo eléctrico dun lugar de traballo. Tamén pode utilizarse esta información para detectar patróns de uso do espazo. Así, un sistema intelixente podería utilizar os datos de temperatura, iluminación e presenza para coñecer os momentos de actividade ou inactividade no lugar e executar un control máis eficiente.

3.3. ESTRATEXIA PARA DESENVOLVEMENTO E INSTALACIÓN DE SENSORES²⁹

- Sensor de humidade. Funcionalidade similar á da temperatura. Control de sistemas HVAC e confort dos individuos. Un entorno excesivamente seco ou húmido provoca incomodidade nas persoas, estando o rango de confort entre o 50%-70% de humidade no ambiente.
- Sensor de luminosidade. Xunto aos sistemas HVAC, a iluminación artificial é un dos parámetros que máis afecta ao consumo enerxético e ao confort e rendemento das persoas. Os niveis de iluminación monitorizados poden ser utilizados para controlar a intensidade luminosa das fontes de luz artificial (dimmers), en función da luminosidade natural, mantendo sempre uns niveis adecuados para o confort e o desenvolvemento da actividade. Os valores de iluminación detectados tamén poder ser utilizados por un sistema de control intelixente para detectar patróns de consumo e optimizar a xestión dos recursos.
- Sensor de presenza. O obxectivo principal da detección de presenza no espazo é evitar consumos innecesarios, xeralmente no ámbito da iluminación.
- Sensor para detectar se portas e xanelas están abertas ou pechadas. Ao igual que a detección de presenza, a idea de monitorizar o estado de apertura de portas e xanelas e evitar consumos enerxéticos innecesarios, neste caso, relativos aos sistemas de HVAC. Un exemplo moi simple sería non utilizar os sistemas de quencemento mentres se manteñen abertas as xanelas que dan ao exterior.
- Sensor de calidade do aire (concentración de gases e detección de partículas volátiles). A importancia deste parámetro reside na saúde das personas, permitindo a xestión dos sistemas de ventilación en caso de detectar algún gas que poida poñer en risco aos individuos que se atopen no espazo. Tamén é posible relacionar a concentración de CO_2 coa presenza de persoas, polo que esta información é útil para detectar os momentos de máis actividade e realizar un patrón de consumo enerxético.
- Sensores para a monitorización do consumo de enerxía. Un ambiente intelixente non será tal se non coñece o consumo eléctrico, factor que afecta directamente ás

decisións que o sistema debe tomar. Existen sensores individuais para cada toma ou xerais, que miden o circuito eléctrico completo.

O primeiro paso consiste na definición dos compoñentes de cada un dos nós e do número de nós a instalar, así como a súa ubicación. Todas estas decisións están estreitamente relacionadas coas características e distribución espacial do lugar para o que se proxecta a instalación. Por exemplo, a situación e cantidade de sensores de luminosidade está condicionada polo tamaño e número de espazos a monitorizar e pola ubicación de portas, xanelas e puntos de luz artificial.

Unha vez seleccionados os compoñentes que formarán os nós, hai que verificar a súa compatibilidade e interoperabilidade. É necesario asegurar a correcta integración de todos os elementos no sistema antes de proceder ao deseño dos modelos de circuito impreso no *software*. Tamén debe comprobarse a comunicación entre os dispositivos e o sistema de monitorización.

3.4 Estratexia para monitorización e control

O sistema de monitorización está formado por tres elementos básicos: os nós de sensorización e comunicación, o servidor que almacena a información e o software de visualización de datos e xestión do sistema que serve como punto de acceso ao usuario.

3.4.1 Topoloxía da rede

É preciso escoller a topoloxía de rede que mellor se adapte aos requisitos do sistema, favorecendo un funcionamento óptimo. Condicións a ter en conta:

- A rede de sensores debe permitir a súa ampliación con novos nós.
- A ubicación dos nós no espazo non se pode ver condicionada pola topoloxía escollida, permitindo que non se atopen distribuídos de forma uniforme.

- Os nós unicamente transmiten información á base de datos de forma inalámbrica e nunca a outros nós.

Óptase por una topoloxía baseada na comunicación independente dos nós. É dicir, cada un dos microcontroladores de cada nó será o encargado de recibir a información dos sensores e conectarse de forma inalámbrica á rede para enviar a información á base de datos directamente. Móstrase un exemplo deste tipo de topoloxía na Figura 3.2.

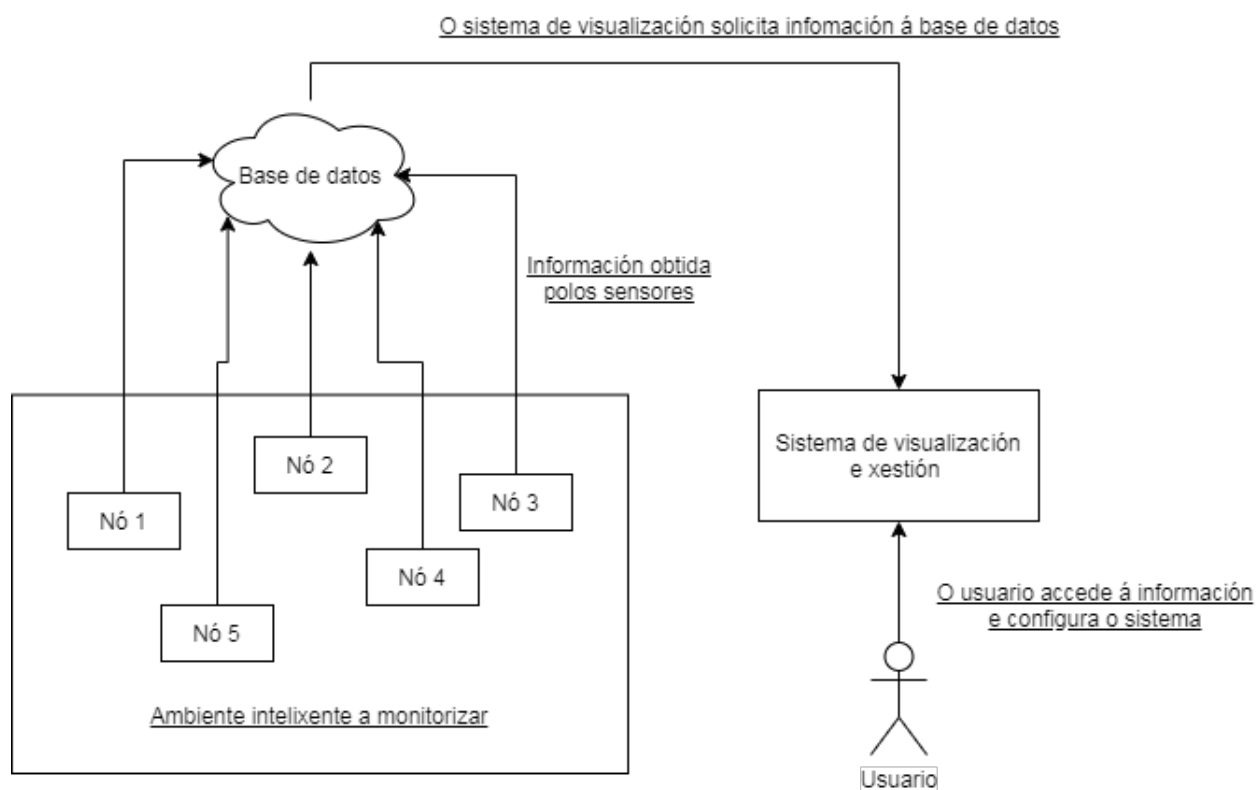


Figure 3.2: Exemplo da topoloxía escollida.

3.4.2 Almacenamento de datos

Unha vez a rede de sensores capta a información do entorno, ésta debe ser almacenada nunha base de datos dixital para a súa posterior utilización. Existe unha gran variedade de tipos de bases de datos, por exemplo, segundo a variabilidade da información almacenada pódese distinguir entre:

- Estáticas. Bases de lectura utilizadas para almacenar datos históricos e estudar o comportamento do conxunto a través do tempo, realizar prediccións e realizar técnicas de análise de datos.
- Dinámicas. A información é modificada ao longo do tempo, permitindo actualizacións, borrado e edición dos datos almacenados, aparte das operacións de consulta.

Unha posible clasificación é a baseada nos modelos utilizados, é dicir, na descripción do que sería o “contenedor dos datos”, da forma de almacenamento e recuperación da información. Algúns dos modelos referidos son:

- Modelos xerárquicos. Organizan os datos en forma de árbore invertido. Son especialmente útiles en aplicacións cun gran volumen de información e datos compartidos. Alto rendemento e permiten crear estruturas estables.
- Modelos de rede. Variación do modelo xerárquico que posibilita que os datos da parte baixa da árbore invertida garden relación con varios datos das etapas superiores. Solución eficiente ao problema da redundancia da información.
- Transaccionales. O seu obxectivo é a comunicación de datos a grandes velocidades. Son pouco comúns, sendo utilizadas en análise de calidade e datos industriais. Como a súa labor é unicamente a recolección e o envío da información, non existe a problemática da redundancia.
- Relacionais. Modelo utilizado para representar problemas reais e xestionar información de forma dinámica. Basean o seu funcionamento na idea das “relacións”, entendendo una relación como un conxunto de datos estruturado en forma de táboa. As filas da táboa serían os rexistros almacenados, mentres que as columnas serían os campos que relacionan a información. Esta información recupérase ou almacénase mediante “consultas”, facilitando a administración da mesma. O linguaxe utilizado máis habitualmente neste tipo de bases de datos é o Structured Query Language (SQL) ou Linguaxe Estructurado de Consultas.

- **Deductivas.** Permite realizar deducións mediante inferencia. Surxen ante as limitacións das bases de datos relacionais de responder a consultas recursivas e pesquisar relacións indirectas dos datos.

Existe unha serie de requisitos básicos para calquera base de datos [21]:

- **Consistencia.** Implica que unha vez que se actualice un dato, todos os puntos de lectura leerán o valor actualizado.
- **Disponibilidade.** A base de datos encóntrase dispoñible en todo momento para dar servizo (escritura, lectura, etc.).
- **Fraccionamento.** O funcionamento da base de datos non se ve comprometido en caso de producirse un erro nalgún dos nós.

Os sistemas de bases de datos tradicionais utilizan o linguaxe SQL, que soporta os requerimentos de simplicidade, robustez, escalabilidade e rendemento. Sen embargo, o seu carácter estático dificulta a súa aplicación en solucións de IoT. Surxen así bases de datos non baseadas no linguaxe SQL (NoSQL). Trátase de bases de datos non relacionais, escalables horizontalmente e facilmente replicables. Compáranse ambos tipos dende o punto de vista da tecnoloxía IoT a continuación.

- **Escalabilidade.**
 - **Structured Query Language (SQL):** Escalabilidade vertical. Posibilidade de mellorar o rendemento dun nó engadindo recursos (memoria ou capacidade de procesamento) a ese mesmo nó.
 - **NoSQL:** Escalabilidade horizontal. O número de nós e servidores auméntase para compartir a carga do sistema.
- **Recuperación dos datos.** No linguaxe SQL os datos están relacionados entre sí e traballar con datos de diferentes conxuntos require de procesos que consumen tempo. Por outro lado, nos linguaxes NoSQL, os datos son almacenados en forma

de obxectos que conteñen toda a información relacionada, polo que se evitan procesos de combinación, reducindo o tempo de resposta.

- Madurez do sistema. Ao tratarse dunha tecnoloxía amplamente utilizada, moitos dos posibles problemas que poden aparecer no desenvolvemento de aplicacións con SQL teñen solución, así como procedementos de seguridade (autenticación, confidencialidade dos datos, etc.). Por contra, como consecuencia da “xuventude” dos sistemas NoSQL, estas medidas aínda non foron implementadas. É necesario ter en conta que, en certas aplicacións de IoT, a seguridade no canle de comunicación é un requerimento básico á hora de transferir información sensible.

Para a solución IoT que se pretende levar a cabo na presente tese considérase adecuado a aplicación dunha base de datos de series temporais. Trátase de bases de datos optimizadas para manexar datos de series de tempo, é dicir, matrices de datos indexados por tempo en certos intervalos. Os datos son agregados en secuencia e cubren xeralmente valores numéricos e estados. Algúns exemplos de *softwares* comerciais son:

- InfluxDB.
- Graphite.
- Prometheus.
- Druid.
- OpenTSDB.

3.4.3 Sistema de visualización

Unha vez a información se atopa almacenada na base de datos é necesario visualizala de forma clara e intuitiva para o usuario. É de suma importancia asegurar a compatibilidade do *software* de representación escollido coa base de datos utilizada e co propio formato dos datos, de forma que non sucedan erros durante a comunicación e se dificulte o correcto

funcionamento do sistema. Tamén hai que ter en conta a cantidade de información a representar, xa que o rendemento do sistema está directamente condicionado pola capacidade de procesamento do *software* utilizado. Así, se se pretende visualizar unha gran variedade de magnitudes de forma simultánea, a capacidade de cálculo requirida será máis elevada que se se busca representar gráficos sinxelos.

Un exemplo dun sistema de visualización sería o *framework* Grafana. Trátase dunha ferramenta de software libre deseñada expresamente para a visualización de series temporais, sendo este o caso dos datos almacenados na presente tese. Permite representar valores estadísticos dunha forma rápida e simple [22].

Algunhas das vantaxes que ofrece Grafana:

- Gráficos elegantes, rápidos e flexibles.
- Paneis dinámicos e reutilizables.
- Posibilidade de executarse en “modo kiosko”. Cada certo tempo prefixado cambia os paneis de control gardados dentro dunha lista de reprodución. Se non é posible deseñar un sólo panel con toda a información, pódese dividir en varias partes e mostralo de forma automática e periódica.
- Capacidade para recopilar de forma nativa os datos de InfluxDB.
- Consta dun potente motor e editor de consultas.
- Sistema de alertas. Grafana permite engadir regras ás pantallas de visualización, configurando cando se debe activar ou desactivar unha alarma ou cada canto tempo se deben evaluar certas condicións.
- Sistema de software libre e gratuito.

Chapter 4

Desenvolvemento

Neste capítulo descríbese o proceso de implementación do sistema. Coméntanse as decisións tomadas en canto aos compoñentes escollidos e ao seu proceso de instalación, así como as dificultades atopadas.

4.1 Prototipos desenvolvidos

Para levar a cabo a monitorización das condicións ambientais do laboratorio deséñanse os diferentes nós que compoñen a rede de sensores e as caixas de impresión 3D nas que se instalan e coas que se protexen os circuitos.

4.1.1 Sensores

Enuméranse a continuación as variables ambientais que se decide rexistrar no entorno. A partir desta información establécense as regras que pretenden incrementar a eficiencia enerxética do laboratorio e as alarmas que avisan dunha situación de risco ou dun consumo anómalo ou innecesario.

- Temperatura.
- Humidade.

- Luminosidade.
- Presenza.
- Apertura/peche de portas e xanelas.
- Concentración compostos volátiles orgánicos no aire e concentración de CO₂ equivalente.
- Consumo eléctrico no entorno.

BH1750

O módulo BH1750 (Figura 4.1 é un sensor de iluminación ambiental dixital que mide o fluxo luminoso. Posúe un convertidor interno de 16-bit, polo que entrega unha saída dixital en formato I2C. Entrega a intensidade lumínica en directamente en Lux (lumen/m²).

As medidas realizadas con este sensor son utilizadas para saber se se está a facer un uso responsable e necesario da iluminación artificial.



Figure 4.1: Módulo BH1750 [23].

Características

- Voltaxe de traballo: 2.4V a 3.6V.
- Intensidade de traballo: 120uA a 190uA
- Resposta espectral similar á do ollo humano.

- Amplio rango de medición 1 a 65535 lux.
- Rexeita o ruído a 50/60 Hz.
- Non se ve afectado pola radiación infravermella nin depende da temperatura da cor da iluminación, polo que funciona correctamente con luz natural e diferentes tipos de iluminación artificial.

SHT10

Módulo dixital que permite medir temperatura e humidade en exteriores, debido a que está protexido fronte ao ambiente por unha sonda. Figura 4.2.



Figure 4.2: Módulo SHT10 [24].

Características

- Voltaxe de traballo: 2.4V a 5.5V.
- Consumo medio de potencia: 0.15mW.
- Precisión
 - Humidade: $\pm 4.5\%$.
 - Temperatura: $\pm 0.5^{\circ}C$.

BME280

Módulo dixital que posibilita a medición simultánea de humidade, presión barométrica e temperatura ambiente e a comunicación I2C co microcontrolador utilizado (Figura 4.3).

O sensor de humidade presenta un tempo de resposta moi curto e unha elevada precisión na medida dentro dun amplo rango de temperaturas.

Os sensores de presión e temperatura caracterízanse por ofrecer unha resolución e precisión elevadas e un ruído moi reducido en comparación con outros sensores coma o BMP180.

As medidas realizadas serán utilizadas para posibilitar un uso eficiente da calefacción no laboratorio, así coma para evitar comportamentos pouco responsables dende un punto de vista enerxético, como pode ser utilizar o sistema de calefacción mentres as portas e xanelas permanecen abertas.

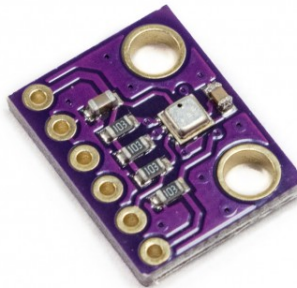


Figure 4.3: Módulo BME280 [25].

Características

- Voltaxe de traballo: 1.7V a 3.6V.
- Intensidade de traballo: 3.6 μ A realizando a medida das tres variables.
- Precisión.
 - Humidade: $\pm 3\%$.

- Presión: $\pm 1hPa$.
- Temperatura: $\pm 1^{\circ}C$.

CCS811

O CCS811 (Figura 4.4) é un sensor de gas dixital de baixo consumo que permite detectar unha ampla gama de compostos orgánicos volátiles (COV) no aire e monitorizar a súa calidade en recintos interiores. Unha lectura do sensor corresponde cunha indicación dos compostos orgánicos volátiles totais (COVT) e unha indicación do equivalente de dióxido de carbono (eCO_2).

O módulo consta dun sensor de óxido metálico (MOX) de placa quente e dun microcontrolador para regular a potencia, ler o voltaxe analóxico e proporcionar unha comunicación I2C para enviar os datos.

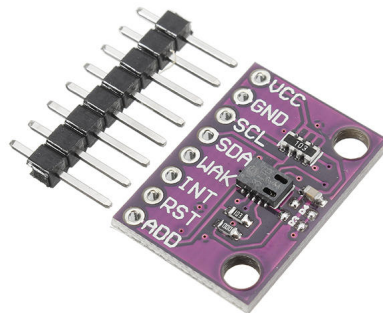


Figure 4.4: Módulo CCS811 [26].

Características

- Voltaxe de traballo: 1.8V a 3.6V.
- Elevada vida útil (>5 anos).
- Lectura da concentración de eCO_2 nun rango de 400 a 8192 partes por millón.
- Lectura da concentración de COVT nun rango de 0 a 1187 partes por billón.

- Capacidade para detectar alcohois, aldehídos, cetonas, ácidos orgánicos, aminas, hidrocarburos, alifáticos e aromáticos.

AM312

O módulo AM312 (Figura 4.5) é un sensor dixital de movemento pasivo infravermello (PIR polas súas siglas en inglés). Este tipo de sensores unicamente reaccionan ante determinadas fonte de enerxía, como pode ser o calor do corpo humano ou o dun animal. Denomínase pasivo porque non emite radiación, senón que a recibe, detectando a diferenza entre o calor emitido por un corpo humano ou animal e o espazo ao redor. O seu compoñente principal é un sensor piroeléctrico, encargado de detectar a variación de radiación infravermella recibida. Tamén consta dunha lente de Fresnell para aumentar o rango de detección.

A detección de presenza resulta indispensable nun sistema que pretende promover un uso eficiente da enerxía. Por exemplo, á hora de detectar consumos innecesarios de iluminación.



Figure 4.5: Módulo AM312 [27].

Características

- Voltaxe de traballo: 2.7V a 12V.
- Rango de funcionamento: Ata 3 metros.

- Ángulo de funcionamento: 100°.
- Tempo de retardo: 2 segundos.
- Modo de disparo repetible.

Reed *switch*

Interruptor eléctrico activado pola presenza dun campo magnético (Figura 4.6). Os contactos, que son dous compoñentes ferrosos ao baleiro dentro dun tubo de vidro, atópanse normalmente abertos e péchanse se existe un campo magnético nas proximidades. Os contactos volven á posición orixinal cando o campo magnético deixa de estar presente.

O seu obxectivo é a detección o estado de apertura (abertas/pechadas) das portas e xanelas do laboratorio. Posibilitarán a toma de decisións en canto á utilización dos sistemas de climatización, así coma a activación de alarmas referidas ao uso inapropiado dos mesmos.



Figure 4.6: Sensor reed [28].

IoTaWatt

Sistema para a monitorización do consumo eléctrico mediante o uso de pizas amperimétricas. Permite o control de ata 14 circuitos de forma individualizada, a calquera voltaxe e frecuencia, sexan monofásicos ou trifásicos.

Este dispositivo xa se encontra instalado no laboratorio obxecto da presente tese no momento da súa realización e será utilizado en futuros traballos para a consecución dun sistema intelixente completo.



Figure 4.7: Sensor de consumo eléctrico IoTaWatt [29].

4.1.2 Controladores

Decídese utilizar, de entre o gran número de posibilidades existentes no mercado, o chip ESP8266 para realizar o control de cada nó e a xestión das comunicacións coa base de datos. As vantaxes que presenta este chip fano una opción a considerar no ámbito das tecnoloxías IoT [30] [31].

ESP8266

Trátase dun System-on-Chip (SoC) fabricado pola compañía china Espressif. Algunhas das súas características máis relevantes son:

- Tensilica L106: Procesador de baixo consumo de 32-bits con arquitectura RISC, que funciona a unha velocidade de 80MHz (máximo de 160MHz).
- Chip W-Fi con xestión de pila TCP/IP.
- 80KB RAM para datos de usuario.
- Memoria flash externa hasta 16MB.
- 16 pins GPIO.
- Conversor analóxico dixital de 10 bits.

- Comunicación SPI, I2C E I2S.
- Voltaxe de operación 3 a 3.6V.
- Consumo medio de 80mA.
- Modo consumo *stand-by* (1mW) e *deep sleep* (1uA).
- Permite a programación co entorno de Arduino mediante o ESP8266 Arduino Core.
- Reducido tamaño e prezo.

Existen distintos modelos comerciais e variantes do chip ESP8266 (Figura 4.8), sendo os máis habituais o ESP01 e o ESP12. As características principais son similares e, basicamente, diferéncianse na memoria Flash dispoñible e na súa forma física, o que condiciona o número de pins GPIO accesibles. A maioría teñen forma de “medio pin”, permitindo así ser soldados en placas de circuito impreso. De entre todas as versións dispoñibles no mercado, escóllense os chips ESP-12E e a placa Wemos D1 Mini pola súa dispoñibilidade no laboratorio.



Figure 4.8: Variantes do chip ESP8266 [32].

ESP12 E Variante do módulo ESP12. Presenta unhas dimensións de 24mm x 16mm e vinte dúas conexións superficiais repartidas en tres dos seus lados (8+8+6). A antena atópase na placa de circuito impreso. Figura 4.9.



Figure 4.9: Módulo ESP12 E [33].

Consta de 22 pines.

- 17 pines GPIO.
- Pin ADC.
- Dous pines de alimentación: GND e Vcc.
- CHIP_EN: Encender e apagar.
- EXP_RSTB: *Reset*.

Enuméranse algunhas das súas características de forma resumida:

- Velocidade de funcionamento: 80MHz, cun máximo de 160MHz.
- Memoria flash: 4MB.
- Tensión de traballo: 3.3V.
- Entradas e saídas dixitais: 11. Todas (menos o pin D0) con PWM, posibilidade de detectar interrupcións e comunicación I2C.
- Prezo moi asequible: Entre dous e cinco euros.
- Como todas as placas ESP8266 prográmase dende o entorno de Arduino.

Utilízase este chip en todos os nós da rede, salvo no nó situado no exterior do laboratorio, tal e coma se comenta no apartado 4.1.2.

Wemos D1 Mini Trátase dunha versión de tamaño reducido da placa Wemos D1 (Figura 4.10), a cal ten un formato similar ao da placa Arduino UNO R3.



Figure 4.10: Placa Wemos D1 [34].

A Wemos D1 Mini ten unhas dimensións de 34.2mm x 25.6mm e un peso de 3g, o que a sitúa como unha das placas máis pequenas baseadas no ESP8266. Figura 4.11.

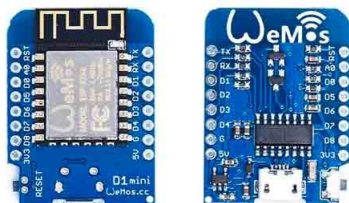


Figure 4.11: Placa Wemos D1 Mini [35].

Sendo lixeiramente máis grande que o módulo Esp12, a Wemos D1 Mini aporta unha serie de vantaxes. Incorpora un conversor serie e un regulador de tensión que permite a alimentación a 5V e unha variedade de *Shields* para ampliar as súas funcionalidades. Máis ao ser un módulo baseado no chip ESP12 as súas características son moi similares ás mencionadas no apartado 4.1.2. Un factor diferenciador é o porto Micro-USB que permite alimentar ao sistema.

Este módulo utilizarase unicamente nun dos nós instalados: o nó situado no exterior do laboratorio (apartado 4.1.4). Esta decisión ven motivada para permitir a conexión por Micro-USB en caso de que exista algún problema co sistema de carga da batería mediante o aproveitamento de enerxía solar.

4.1.3 Ubicación dos nós

Dadas as características dos sensores dispoñibles e das funcionalidades desexadas, decídese instalar una rede formada por un total de 7 nós. As súas ubicacións enuméranse a continuación, véndose reflexadas na Figura 4.12.

- Número 1: Porta de acceso ao laboratorio. Variables monitorizadas:
 - Temperatura.
 - Humidade.
 - Presión.
 - Nivel de luminosidade.
 - Estado de apertura da porta de acceso.

- Número 2: Columna central da sala principal. Ubícase na superficie oposta á cara que enfrota a parede acristalada, evitando así que o sensor CSS 811, encargado de medir a calidade do aire, tome mostras erróneas debido á ventilación procedente das xanelas e portas.
 - Temperatura.
 - Humidade.
 - Presión.
 - Nivel de luminosidade.
 - Presenza de individuos.
 - Calidade do aire.
 - * Concentración de compostos orgánicos volátiles totais.
 - * Concentración eCO_2 .

- Número 3: Tres nós na parede na que se atopan xanelas e portas de cristal. De forma que se poda monitorizar a presenza nas tres zonas de mesas de traballo e o estado de apertura das dúas portas e demáis xanelas.

- Presenza de individuos.
- Estado de apertura de portas e xanelas.
- Número 4: Porta de acceso ao cuarto de reunións.
 - Temperatura.
 - Humidade.
 - Presión.
 - Nivel de luminosidade.
 - Presenza de individuos.
 - Estado de apertura da porta.
- Número 5. Nó de monitorización do consumo de enerxía mediante o dispositivo IoTaWatt ubicado no cuadro xeral de enerxía. O seu deseño non é ámbito da presente tese, polo que unicamente se indica a súa existencia e ubicación.
- Non reflexado na Figura 4.12: Exterior do laboratorio ao aire libre.
 - Temperatura.
 - Humidade.
 - Presión.



Figure 4.12: Ubicacións dos nós no laboratorio.

Nº 1: Temperatura, humidade, presión, nivel de luminosidade, estado de apertura da porta de acceso.

Nº 2: Temperatura, humidade, presión, nivel de luminosidade, presenza de individuos, concentración de compostos orgánicos volátiles totais, concentración eCO_2 .

Nº 3: Presenza de individuos, estado de apertura de portas e xanelas.

Nº 4: Temperatura, humidade, presión, nivel de luminosidade, presenza de individuos, estado de apertura da porta.

Nº 5: Sensor de monitorización do consumo enerxético.

4.1.4 Deseños do nós

Unha vez definidos os nós, e antes de encargarse a fabricación das placas de circuito impreso, realízanse diferentes probas para avaliar o seu deseño e funcionamento. Inicialmente, faise unha comprobación individual de cada sensor para, a continuación, facer unha montaxe nunha placa de probas do nó completo. A finalidade desta montaxe é avaliar o funcionamento conxunto do microcontrolador, sensores e demais compoñentes. Por último, realízase un modelo dixital das placas de circuito impreso de cada un dos nós e se encarga a súa fabricación

Os deseños das placas de circuito impreso dos nós realízanse co *software* Easily Applicable Graphical Layout Editor (EAGLE), xa que se trata dun programa cunha versión gratuita e a gran variedade de bibliotecas de compoñentes dispoñibles. Independentemente das variacións nos deseños dos nós, existe unha serie de elementos comúns a todos

eles (exceptuando o nó situado no exterior que é tratado en particular no apartado 4.1.4).

Estes compoñentes repetidos son:

- Chip ESP12 E. Este chip require do uso de:
 - Dúas resistencias de *pull up* de $10k\Omega$ conectadas aos pines SCL e SDA.
 - Cinco resistencias de $12k\Omega$.
 - Unha resistencia de 470Ω . Utilízase nos casos nos que se utilice o modo de baixo consumo da ESP8266. Coméntase máis detalladamente no apartado 4.2.1.
 - Un condensador de $0.1\mu F$.
- *String* serie de 5 conectores jumper para poder programar o chip. Figura 4.13.

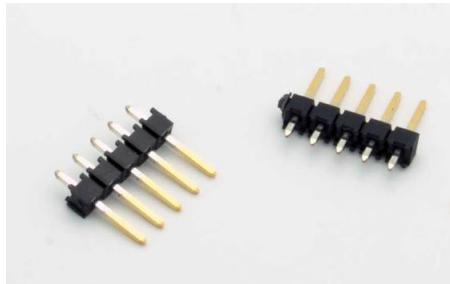


Figure 4.13: Conector *jumper* [36].

- Alimentación.
 - Un conector de corrente continua de 5V (un *power jack* femia). Figura 4.14.



Figure 4.14: Conector de corrente continua femia [37].

- O chip debe ser alimentado a 3.3V polo que se utiliza un reductor lineal de 5V a 3.3V. Óptase polo integrado AMS1117 3P - 3.3V debido a o seu baixo prezo e á súas características eléctricas. Figura 4.15.



Figure 4.15: Reductor lineal AMS1117 3P - 3.3V [38].

- Dous condensadores de $0.1\mu F$ requeridos polo conversor buck.
- No caso de constar de sensores reed, o nó require dunha resistencia de $10k\Omega$ por cada sensor conectada entre o pin negativo do sensor e masa.

Nó da porta de acceso ao laboratorio

Este nó consta de tres compoñentes a maiores dos comúns:

- Sensor de luminosidade BH1750.
- Sensor de temperatura, humidade e presión BME280.
- Un conector borne (Figura 4.16) de dúas entradas para un sensor reed para coñecer o estado da porta.



Figure 4.16: Conector borne [39].

O deseño da placa do circuito impreso correspondente a este nó móstrase nas Figuras 4.17 e 4.18.

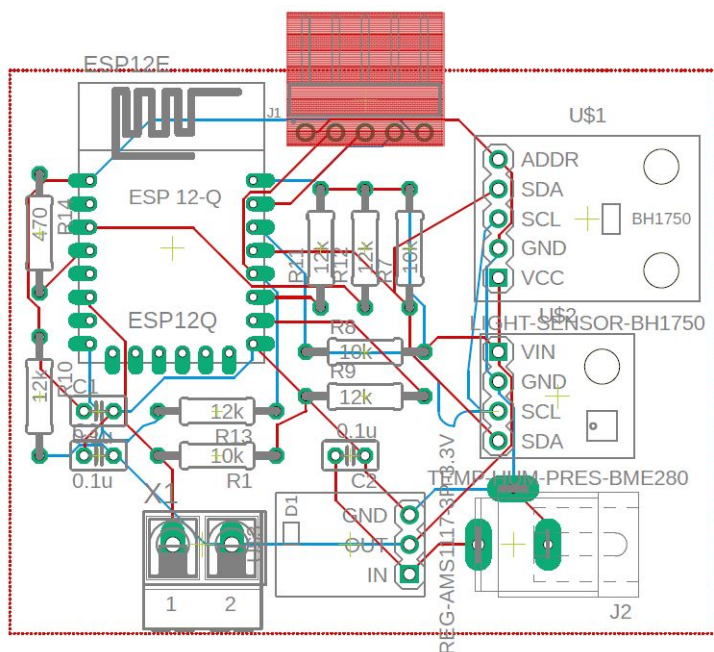


Figure 4.17: Deseño da placa de circuito impreso do nó da porta de acceso ao laboratorio.

Nó do cuarto de reunións

Está constituído a maiores por:

- Sensor de luminosidade BH1750.
- Sensor de temperatura, humidade e presión BME280.
- Dous conectores borne de tres entradas para sensores de presenza AM312.
- Un conector borne de dúas entradas para un sensor reed para coñecer o estado da porta.

O deseño correspondente a este nó móstrase nas Figuras 4.19 e 4.20.

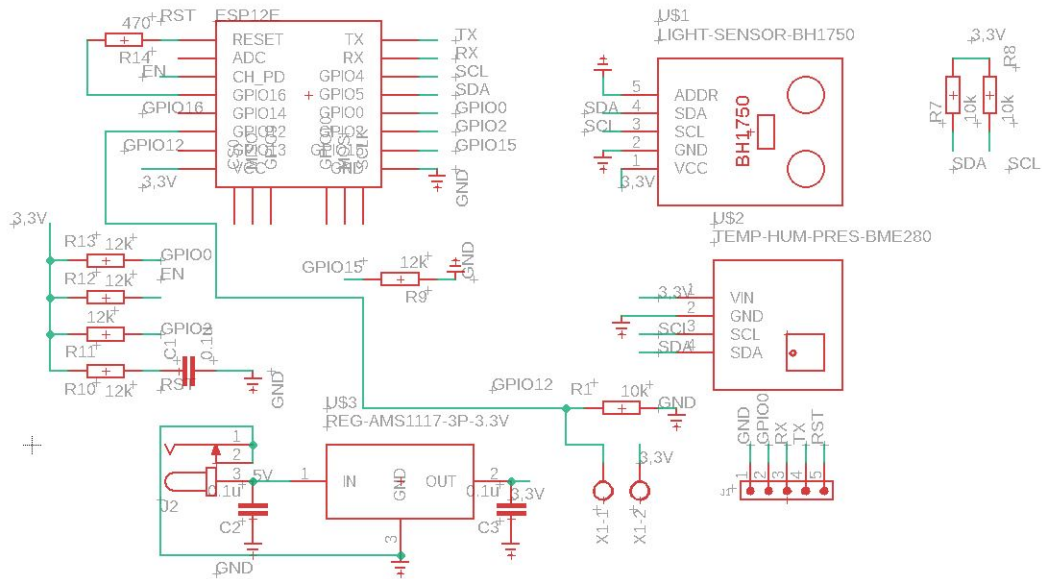


Figure 4.18: Conexións eléctricas do circuito do nó da porta de acceso ao laboratorio.

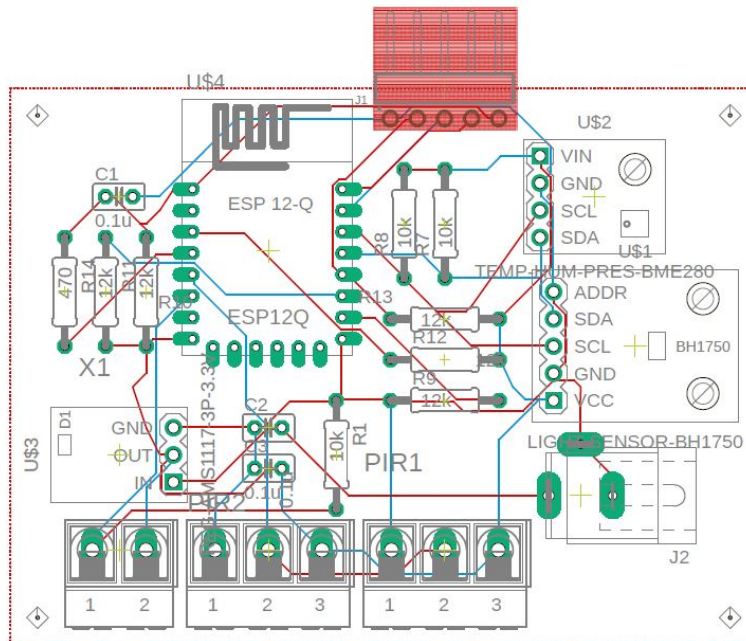


Figure 4.19: Deseño da placa de circuito impreso do nó do cuarto de reunións.

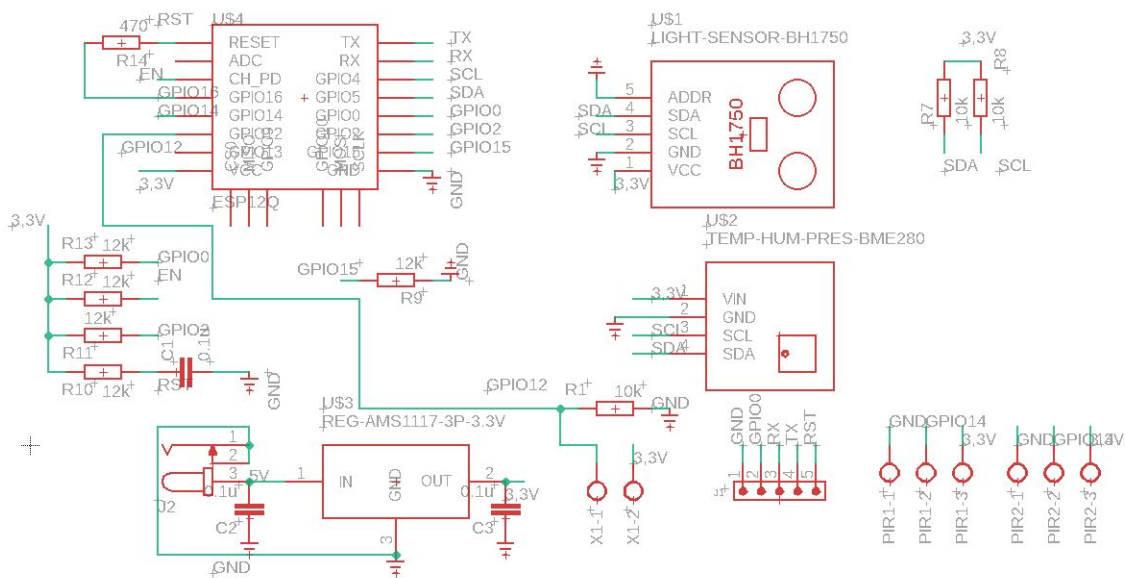


Figure 4.20: Conexións eléctricas do circuito do nó do cuarto de reunións.

Nó da columna central

Neste caso, o nó ten conectados os seguintes compoñentes:

- Sensor de luminosidade BH1750.
- Sensor de temperatura, humidade e presión BME280.
- Sensor de monitorización da calidade do aire (concentración de partículas volátiles e o eCO_2) CSS 811.
- Tres conectores borne de tres entradas para tres sensores de presenza AM312.

Nas Figuras 4.21 e 4.22 obsérvase o deseño da placa de circuito impreso correspondente.

Nós da parede acristalada

Este nó consta de:

- Dous conectores borne de tres entradas para sensores de presenza: AM312.
- Catro conectores borne de dúas entradas para sensores reed para coñecer o estado de portas e xanelas.

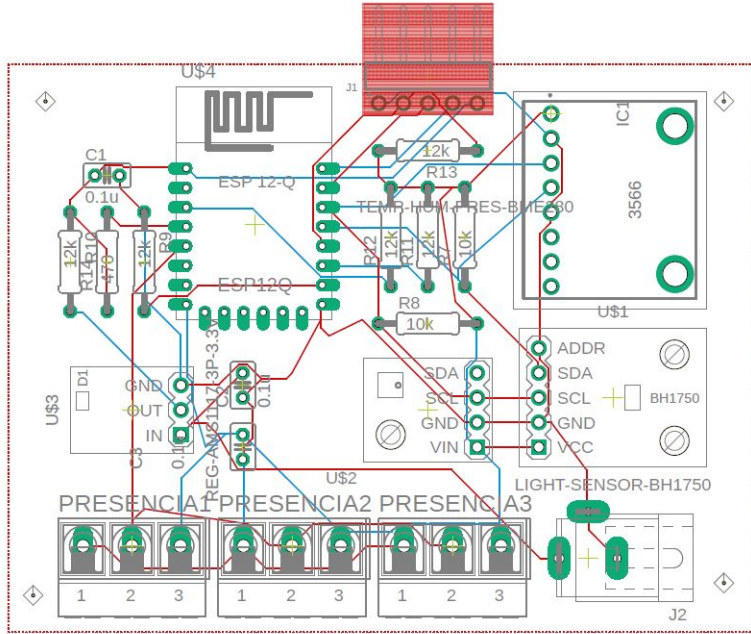


Figure 4.21: Deseño da placa de circuito impreso do nó da columna centrar do laboratorio.

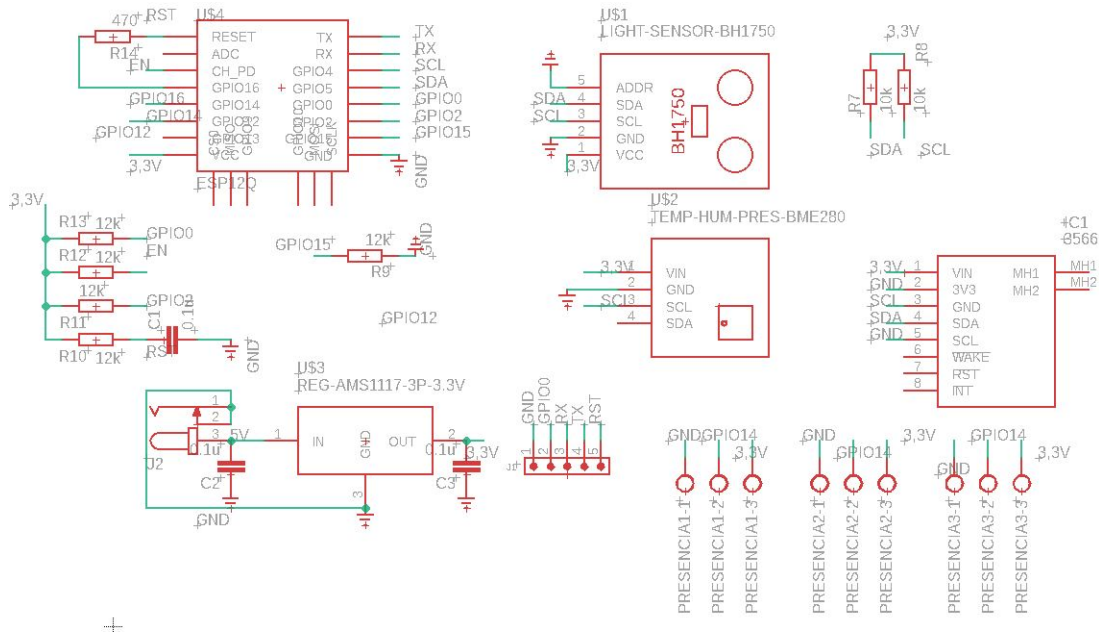


Figure 4.22: Conexións eléctricas do circuito do nó da columna centrar do laboratorio.

Nas Figuras 4.23 e 4.24 obsérvase o deseño correspondente.

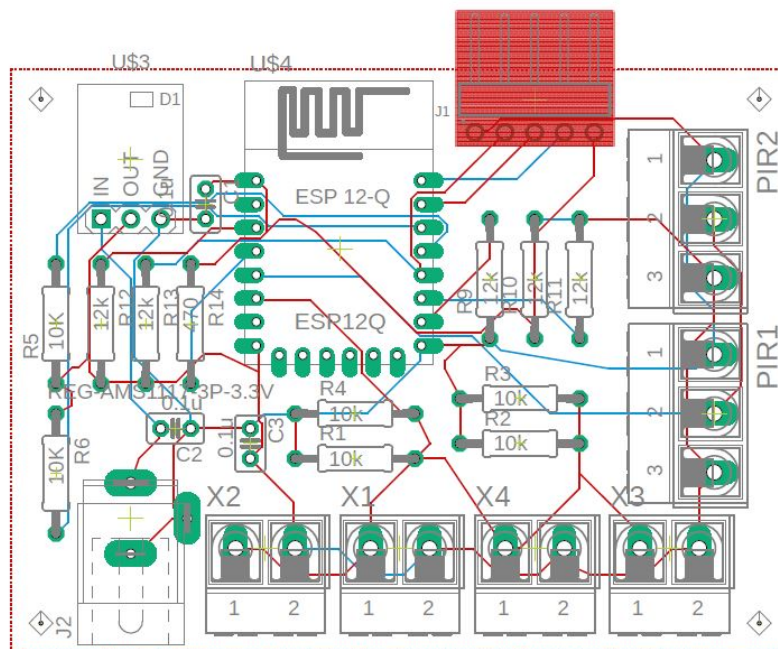


Figure 4.23: Deseño da placa de circuito impreso do nó da parede lateral acristalada.

Nó do exterior do laboratorio

O deseño deste nó é diferente do dos nós anteriores, debido a que se ubica no exterior do laboratorio, ao aire libre. Ante a imposibilidade de conectar o nó a una toma da rede eléctrica do laboratorio, requírese unha fonte alternativa e autónoma de alimentación. Decídese facer uso dun panel solar fotovoltaico para cargar unha batería que aporte enerxía ao sistema.

Os compoñentes escollidos neste caso enuméranse a continuación.

- Placa Wemos D1 Mini baseada no chip ESP8266.
- Resistencia de 470Ω conectada entre o os pines D0 e RST para que o microcontrolador saia do *sleep mode*. Esta funcionalidade coméntase máis detalladamente no apartado 4.2.1.

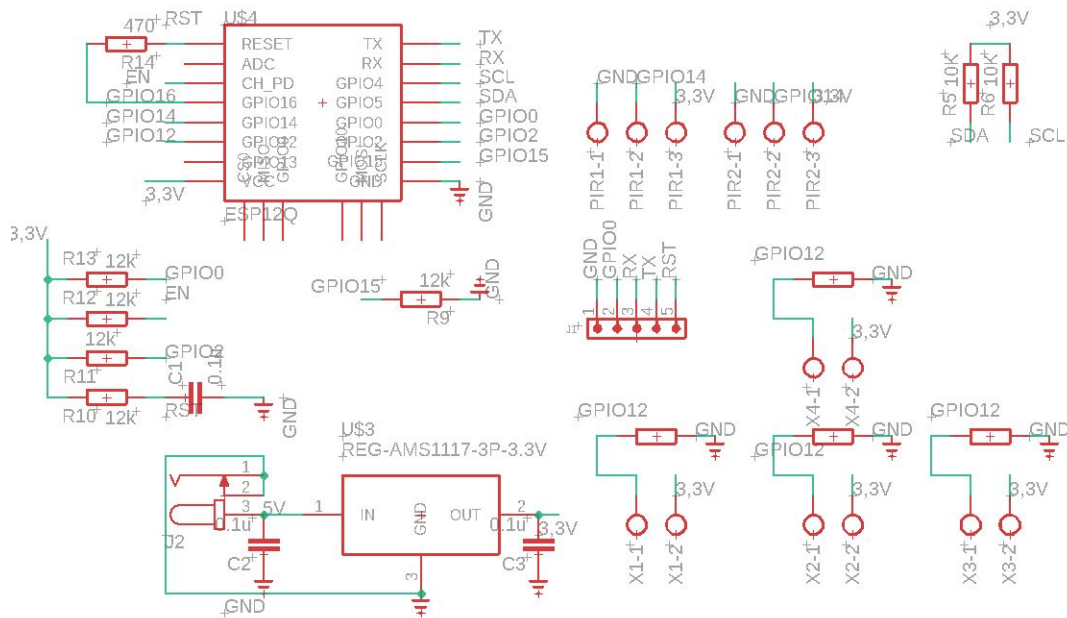


Figure 4.24: Conexións eléctricas do circuito do nó da parede lateral acristalada.

- Conector borne de 4 entradas para conectar o sensor de temperatura e humidade SHT10. Escóllese este sensor debido a que se atopa protexido da humidade e demais axentes ambientais por una sonda de aceiro inoxidable. Figura 4.2.
- Sistema de alimentación formado por:
 - Panel solar fotovoltaico de 6V e 1 W dispoñible no laboratorio. Figura 4.25.



Figure 4.25: Panel solar fotovoltaico [40].

- Cargador solar de litio baseado no módulo de xestión de carga de baterías de litio CN3065 (Figura 4.26). Trátase dun MPPT (Maximum Power Point

Tracking), encargado de regular o voltaxe ofrecido polo panel solar fotovoltaico e cargar a batería baixo as mellores condicións de traballo posibles.

A placa de circuito impreso incorpora dous conectores borne de dúas entradas cada un para a conexión do cargador coa batería e a coa placa Wemos D1 Mini.

Características:

- * Voltaxe de entrada dende o panel solar de 4.4-6V.
- * Intensidade máxima de carga de 500mA.
- * Protección fronte a cortocircuito.
- * Indicador de estado da batería. Se o led ilumina con luz vermella significa que a batería está cargando. Se ilumina con luz verde, que a baetría está cargada.
- * Conector Micro-USB para alimentar en caso de que a enerxía aportada polo panel solar non sexa suficiente ou o sistema falle.

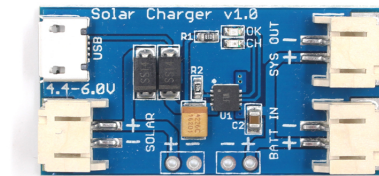


Figure 4.26: Módulo CN3065 [41].

- Batería de ións litio VCR 18650B 3,7 V 3400 mAh (Figura 4.27) e resistencia externa de $220k\Omega$.

En caso de decidir monitorizar o estado da batería débese ter en conta o seguinte: O voltaxe máximo de entada da placa Wemos D1 Mini é de aproximadamente 3.2-3.3V, pero esta batería cargada completamente pode presentar

na saída un máximo de 4.2V. A placa consta dun divisor de voltaxe interno que conecta os pines A0 e o ADC, formado por unha resistencia de $220k\Omega$ e outra de $100k\Omega$. O deseño require o uso dunha resistencia externa de $100k\Omega$ para posibilitar a medición. Utilízase unha resistencia de $220k\Omega$ para traballar cun marxe de seguridade [42].



Figure 4.27: Batería de ións litio VCR 18650B [43].

Non todos os elementos deste nó están ubicados na placa de circuito impreso. O panel solar atópase fóra do compartimento impreso en 3D para captar a enerxía solar e o módulo de carga baseado no chip CN3065 sitúase dentro do compartimento, pero non na placa, xa que non se atopou o seu *footprint* para a realización do deseño no *software* utilizado.

O deseño desta placa de circuito impreso móstrase nas Figuras 4.28 e 4.29.

4.1.5 Compartimentos de impresión 3D

É necesario protexer os circuitos no entorno de traballo, para favorecer o seu correcto funcionamento e incrementar a súa vida útil. Poden poñer en risco a integridade dos circuitos a suciedade, os líquidos e os golpes e caídas. O impacto visual e a estética tamén son cuestións a ter en conta. Introducir as placas de circuito impreso dentro dun compartimento de reducido tamaño e cor neutro facilitará que pasen desapercibidas no lugar onde sexan instaladas, xa que nalgúns casos serán situadas a simple vista.

Realízanse dous modelos distintos para actuar como compartimentos protectores das placas de circuito impreso. Os prototipos mostrados a continuación foron deseñados mediante o *software* SolidWorks.

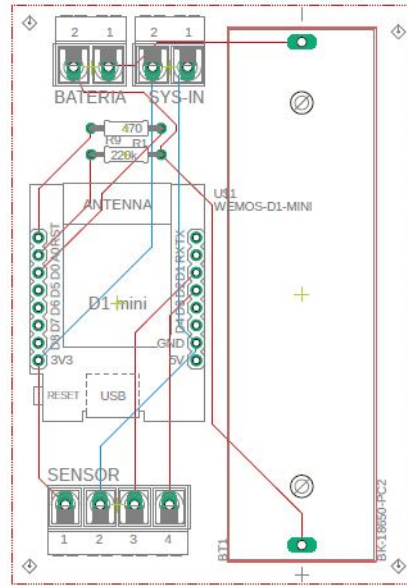


Figure 4.28: Deseño da placa de circuito impreso do nó situado no exterior do laboratorio.

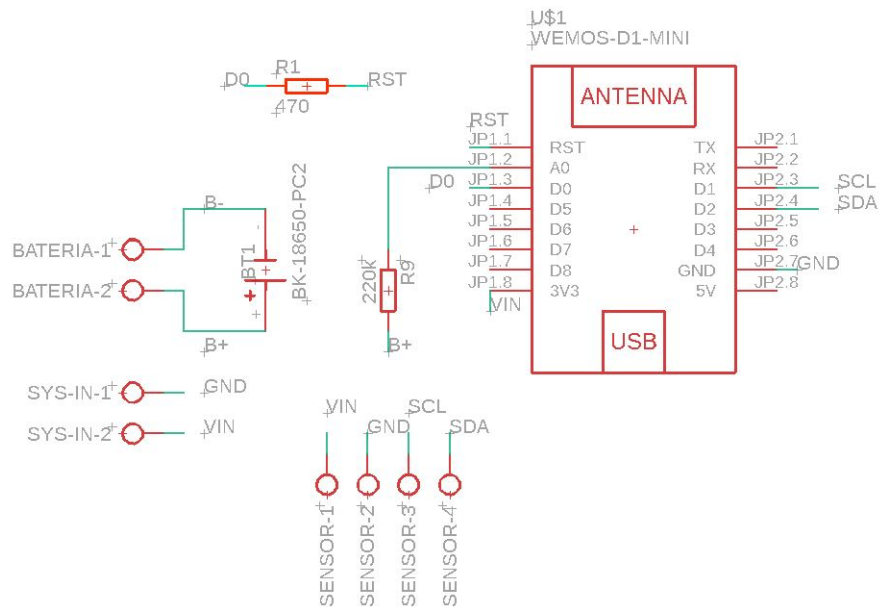


Figure 4.29: Conexións eléctricas do circuito do nó situado no exterior do laboratorio.

Modelo para os nós interiores

A función básica deste modelo consiste en protexer ao circuito da suciedade e dos posibles choques/caídas, xa que no laboratorio non hai risco de que a placa de circuito impreso se vexa afectada polas condicións ambientais. Este compartimento está formado por dúas pezas que encaixan entre si, facilitando o acceso ao compoñentes en caso de producirse algún erro ou querer traballar físicamente sobre eles. A parte dianteira (Figura 4.30) cúbrese cunha peza de plástico transparente, permitindo que o sensor de luminosidade realice a súa función correctamente. Os laterais quedan ao descuberto permitindo así a circuulación de aire para a refrixeración do circuito. A base (Figuras 4.31) servirá como soporte para a placa de circuito impreso. Ao tratarse de nós situados no interior do laboratorio estarán protexidos das inclemencias meteorolóxicas, polo que o compartimento poderá ser fabricado con acido poliláctico (PLA). As figuras representan unicamente un prototipo, xa que as medidas non son exactas ao non coñecer as medidas definitivas das placas de circuito impreso.

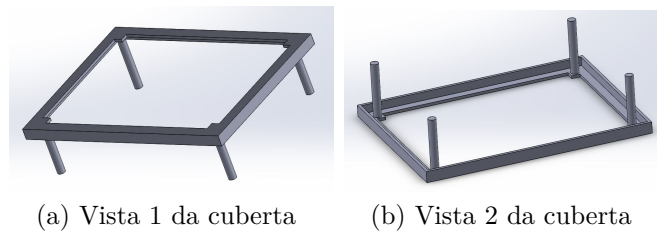


Figure 4.30: Cuberta da caixa de impresión 3D utilizada nos nós do interior do laboratorio.

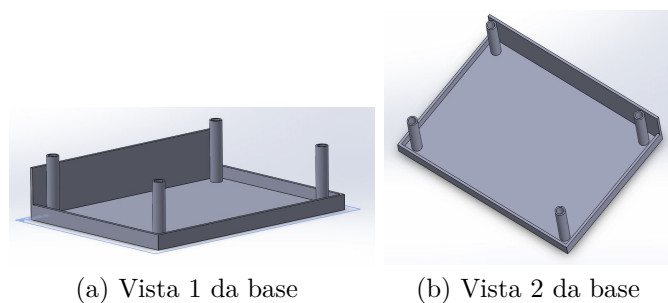


Figure 4.31: Base da caixa de impresión 3D utilizada nos nós do interior do laboratorio.

Modelo para o nó exterior

O modelo utilizado no caso do nó situado no exterior é unha versión da *Stevenson screen* (Figura 4.32), utilizada xeralmente para protexer instrumentos meteorolóxicos das inclemencias medioambientais (chuvia, vento ou radiación solar) mentres que se permite a circulación de aire polo seu interior [44]. Será necesario analizar o comportamento do ABS e do PETG baixo as inclemencias meteorolóxicas para decidir qué material utilizar, xa que o PLA non é apto para as condicións de traballo que se dan ao aire libre.



Figure 4.32: Exemplo dunha *Stevenson screen* [45].

O modelo pódese obter accedendo á web especificada na referencia [46]. A placa de circuito impreso e o módulo de carga CN3065 sitúanse dentro da caixa, mentres que o panel fotovoltaico colócase na parte superior, tal e como se observa na Figura 4.33. Será necesario modificar as medidas do modelo adaptándoas ás do panel solar utilizado e ás da placa de circuito impreso. Tampouco é requerido o uso da antena que se observa na Figura, xa que será ubicado preto do laboratorio e a potencia da señal inalámbrica da placa Wemos D1 Mini é suficiente.

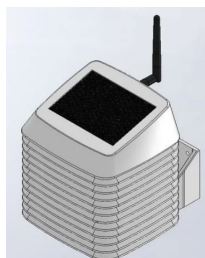


Figure 4.33: Modelo de *Stevenson screen* utilizado [46].

4.2 Interacción e comunicación

Neste apartado trátase, de forma específica, a forma de interacción entre os sensores e o chip ESP8266 de cada un dos nós, e, de forma xeral, a comunicación establecida entre os nós e a base de datos e entre o InfluxDB co *framework* Grafana. Móstrase na Figura 4.34 unha representación gráfica do sistema deseñado, os elementos que o forman e o fluxo da información.

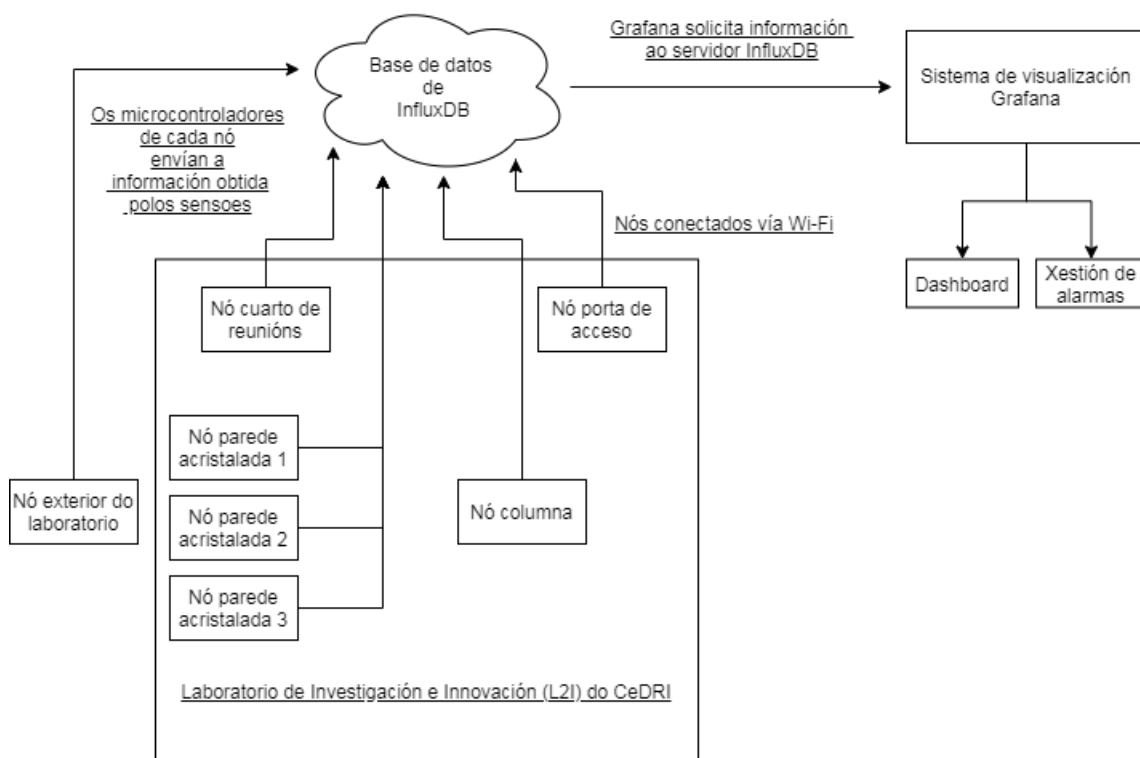


Figure 4.34: Representación gráfica dos elementos utilizados e a súa interacción.

4.2.1 Funcionamento e comunicación dos nós

Os sensores escollidos comunícanse co chip ESP8266 de dúas formas distintas, dependendo da natureza da magnitude que miden:

- Entrada dixital con valores lóxicos 1 ou 0, todo ou nada. É o caso dos sensores de presenza e os detectores do estado de apertura de portas e xanelas.

- Mediante o bus I2C (*Inter-Integrated Circuit*). Este bus require dous cables, un para a señal de reloxo (CLK) e outro para o envío dos datos (SDA). tal e como se mostra na Figura 4.35. É o caso dos demais sensores.

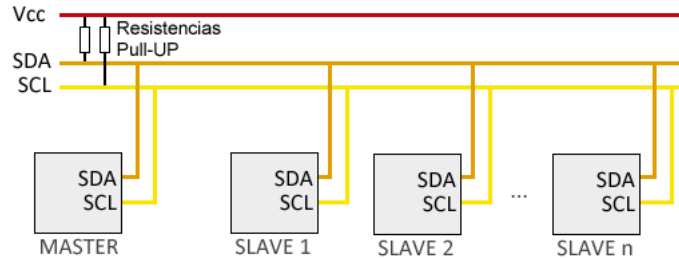


Figure 4.35: Exemplo dunha *Comunicación por bus I2C* [45].

O sistema de comunicación I2C ten unha arquitectura de tipo maestro-escravo. O maestro, neste caso o chip ESP8266, inicia a comunicación cos escravos para enviar ou recibir información. Os escravos non poden iniciar a comunicación nin falar entre eles.

Trátase dun bus síncrono. O maestro proporciona unha señal de reloxo que mantén sincronizados a todos os dispositivos do bus.

O protocolo I2C require o uso de resistencias de *pull-up* das liñas a Vcc, polo que, como se comenta anteriormente (apartado 4.1.4), faise uso de dúas resistencias de $10k\Omega$ en cada nó.

Funcionamento do nó da porta de acceso

O nó situado na porta de acceso ao laboratorio monitoriza as seguintes variables:

- Estado da porta de acceso (aberta/pechada).
- Temperatura.
- Humidade.
- Persión.
- Nivel de luminosidade.

As medicións son realizadas cada 30 segundos. Búscase unha forma de minimizar o gasto enerxético durante o tempo que transcorre entre dúas medicións consecutivas. O chip ESP8266 posúe tres modos de aforro de enerxía:

- *Modem-sleep*. Desactiva a conexión Wi-Fi de tipo *Station*, establecida cun punto de acceso. Consumo típico de 15mA.
- *Light-sleep*. Permite manter a conexión Wi-Fi, máis reduce o consumo de enerxía nos momentos nos que non se envía información. Consumo típico de 0.5mA.
- *Deep-sleep*. A única parte que se mantén en funcionamento é o reloxo en tempo real (Real Time Clock) para poder realizar un *reset* ao finalizar o tempo de repouso. O consumo típico é duns 10uA.

Decídese que o sistema entre no modo de menor consumo de enerxía: o modo *deep-sleep*. Para realizar o *reset* que desperta á ESP8266 deste estado, o sistema envía un pulso desde o pin GPIO16 (D0) ao pin de *reset* (RST), polo que se realiza unha conexión entre estes dous pines a través dunha resistencia de 470Ω .

Funcionamento do nó da porta do cuarto de reunións

Enuméranse as magnitudes medidas por este nó:

- Estado da porta de acceso ao cuarto (aberta/pechada).
- Temperatura.
- Humidade.
- Presión.
- Nivel de luminosidade.
- Presenza.

Neste caso non se utiliza ningún modo de baixo consumo entre as medidas, tamén realizadas cada 30 segundos. Isto permitirá establecer unha comparativa entre os consumos de enerxía de ambos nós e concretar os beneficios de utilizar o *deep-sleep*.

Funcionamento do nó da columna central

As variables monitorizadas neste caso son:

- Temperatura.
- Humidade.
- Presión.
- Presenza.
- Nivel de luminosidade.
- Concentración total de partículas volátiles.
- Concentración de eCO_2 .

Toma as medidas cada 30 segundos e non se fai uso de ningún modo de baixo consumo.

Este nó, ao igual que o nó situado na porta de acceso ao laboratorio, realiza medidas de temperatura, humidade e nivel de luminosidade no cuarto principal do laboratorio.

Esto realízase por dous motivos:

- En caso de producirse un erro nun dos nós, asegúrase a monitorización de variables básicas para que o sistema tome decisións relativas á eficiencia enerxética.
- O nó instalado na porta de acceso ao laboratorio monitoriza o nivel de luminosidade á altura do plano de traballo, xa que é un factor clave no desenvolvemento das actividades das persoas que traballan no laboratorio. Una iluminación incorrecta pode provocar problemas de saúde e afectar ao rendemento e estado de ánimo. O nó instalado na columna é colocado nunha zona elevada, monitorizando máis directamente a luminosidade aportada polas fontes de luz artificial.

Funcionamento dos nós da parede acristalada

Unicamente monitorizan:

- Presenza de persoas na zona na que se encontran as mesas de traballo.
- Estado de apertura das portas e xanelas da parede acristalada.

Realizan a medición cada 30 segundos e non utilizan ningún modo de baixo consumo.

Funcionamento do nó exterior

O módulo instalado fóra do laboratorio encárgase de realizar a monitorización das seguintes variables do ambiente exterior:

- Temperatura.
- Humidade.

Estas medidas sirven para coñecer as condicións meteorolóxicas reais para evitar consumos innecesarios no laboratorio. Por exemplo, manter encendido o sistema de calefacción se a temperatura no exterior é de 25°C.

Realízase a toma de mostras cada 30 segundos. Neste caso si se decide utilizar un modo o baixo consumo *deep-sleep*, xa que o sistema é alimentado por unha batería e preténdese realizar un uso eficiente da enerxía almacenada.

O nó ubícase nun lugar próximo ao laboratorio, polo que non se require de ningún elemento para posibilitar a conexión coa rede inalámbrica. A información viaxa vía Wi-Fi como nos demais nós.

4.2.2 Comunicación nó-base de datos

A comunicación entre o módulo baseado no chip ESP8266, xa sexa a placa Wemos D1 Mini ou a ESP-12E, realízase mediante o uso da librería “ESP8266 Influxdb” para Arduino de Tobias Schürg. Esta librería permite a escritura de información nun servidor de InfluxDB

ou en InfluxDB Cloud. Permite autenticación e comunicacións seguras por método TLS [47].

Tamén é necesario utilizar a librería “ESP8266WiFi.h” que posibilita a conexión inalámbrica do chip coa rede Wi-Fi que permite acceder á base de datos de InfluxDB. Cada vez que se faga un *reset* ao chip, este intentará configurar e realizar á conexión coa rede inalámbrica e coa base de datos.

Para almacenar información en InfluxDB é necesario crear unha “variable” ou “etiqueta” na base de datos coa que identificar os valores recibidos. Cada un dos nós dá un nome ás variables e llo comunica ao servidor, de forma que se relacione cada valor enviado co campo de entrada que lle corresponde. Por exemplo, cando o nó situado na porta de acceso ao laboratorio lle envíe ao servidor a información relativa ao nivel de luminosidade detectado, na base de datos almacenarase esta información no campo de entrada ou etiqueta “IluminanciaEntrada”, e non noutro campo.

Antes de comunicar un novo valor á base de datos, elimínase, da etiqueta de envío, non do InfluxDB, a información anteriormente enviada para evitar a repetición dos datos e demais posibles problemas derivados dun fallo na comunicación.

Para cada transmisión enviada, comunícase tamén o indicador de forza de sinal recibida (Received Signal Strength Indicator), que estima o ben que o dispositivo pode comunicarse cun punto de acceso. Desta forma, en caso de aparecer algún dato anormal, pódese comprobar se a anomalía é debida a un fallo na sinal inalámbrica.

4.2.3 Comunicación de InfluxDB con Grafana

Comunícase a base de datos que almacena a información co sistema de visualización e control utilizado mediante HTTP, protocolo usado en aplicacións web que non optimiza o custo computacional de procesar os mensaxes. O *framework* Grafana posúe un *plugin* específico para o uso de InfluxDB. Este complemento inclúe un editor de consultas personalizable, para solicitar a información requerida, e un sistema de anotacións e plantillas de consulta [48].

Para establecer a comunicación entre ambos elementos é necesario seguir os seguintes pasos:

- No menú de Grafana, seleccionar a opción *Data Source*.
- Pinchar na opción *+ Add Data Source*.
- Seleccionar InfluxDB no menú *Type*.
- O programa solicita a seguinte información:
 - *Name*: Nome co cal referirse á base de datos nos paneis e peticións.
 - *Default*: Significa que esta base de datos será pre-seleccionada para os novos paneis engadidos.
 - *Url*: O protocolo HTTP, dirección IP e porto da Application Programming Interface (API) de InfluxDB. O porto por defecto da API de InfluxDB é 8086.
 - *Access*: O *Server (default) = URL* ten que ser accesible para o servidor de Grafana. O *Browser = URL* ten que ser accesible para o navegador utilizado.
 - *Database*: Nome da base de datos de InfluxDB.
 - *user*: Nome do usuario da base de datos.
 - *Password*: O contrasinal do usuario da base de datos.
 - *HTTP mode*: Forma de realizar a solicitude de información ña base de datos.Hai dous modos:
 - * *GET*: Método por defecto.
 - * *POST*: Permite realizar solicitudes de gran tamaño que retornarían un erro se se realizasen polo método *GET*.
- É necesario establecer un tempo mínimo de intervalo (*Min time interval*) para a representación gráfica da información. Isto é un límite inferior para a función de agrupamento automático de valores que posúe Grafana. Agrupará nun punto todos

os valores medidos dunha variable que se adquirisen entre dous instantes de tempo separados a cantidade fixada polo tempo mínimo de intervalo.

4.3 Monitorización e control

4.3.1 Almacenamento dos datos

No laboratorio onde se pretende realizar a instalación xa existe un servidor de bases de datos de series en tempo real deseñado mediante InfluxDB ao que se accede por medio dunha conexión inalámbrica local. Neste servidor hai unha base de datos preparada para este tipo de aplicacións creada con anterioridade á realización desta tese, polo que se fai uso da mesma. O outro motivo polo que se decide utilizar este recurso e a súa remarcable sinerxia con aplicacións de análise de datos e visualización gráfica [49].

4.3.2 Monitorización

Grafana presenta múltiples funcionalidades á hora de crear e deseñar una pantalla de visualización. Estas pantallas son denominadas *dashboards* e están formadas por un ou máis paneis organizados en filas. Este *dashboard* é totalmente personalizable, permitindo escoller o número de paneis utilizados, a súa distribución na pantalla e cómo se dispón a información nos mesmos.

O primeiro paso é crear unha petición, é dicir, solicitar información á base de datos configurada. Escóllese unha variable de entre todas as almacenadas no InfluxDB e decídese o formato no que se quere visualizar. A opción por defecto é mostrar o valor medio da variable ao longo do tempo, pero existe una gran variedade de alternativas. Por exemplo: valor mínimo ou máximo en cada instante, mediana, etc.

A información solicitada é mostrada nun panel, que é a unidade básica de visualización deste *software*. O deseñador pode distribuir os paneis no *dashboard* e redimensionalos ao seu gusto, permite total personalización. Tamén é posible graficar varias variables nun mesmo panel para facilitar a súa comparación.

Enuméranse a continuación e móstranse na Figura 4.36 algúns exemplos dos tipos de gráficos que permite utilizar Grafana para visualizar as series temporais. Algúns poden ser utilizados por defecto, mentres que para utilizar outros é necesario instalar complementos externos.

- Gráfico de barras verticais/horizontais.
- Gráficos de liñas. Con diferentes cores, degradados e demais variables.
- Diagramas circulares (*pie charts*).
- Indicadores ou gráficas de bala.
- Táboas.
- Cadros de texto.



Figure 4.36: Exemplo de gráficos dispoñibles en Grafana [50].

Dentro das opcións de edición dos paneis é posible incorporar alertas ao sistema, que permiten ao deseñador do *dashboard* instaurar normas e regras relativas aos datos visualizados. O *software* permite configurar a frecuencia coa que son comprobadas estas normas e as condicións requiridas para que a alerta salte ou se deteña.

Móstrase na Figura 4.37 un exemplo de alerta. Neste exemplo preténdese avisar ao usuario cando a variable monitorizada supere o valor marcado pola liá horizontal vermella. Ás 16:04 o estado da alerta cambia a *Pending* (frecha de color amarelo), xa que a variable superou ese valor, e catro minutos máis tarde, como a variable sigue superando o límite definido, cambia a *Alerting* (frecha de color vermello), que é cando a notificación é enviada ao usuario. Unha vez a variable descende por debaixo do límite establecido, a alarma volve ao estado *OK* (frecha de color verde).

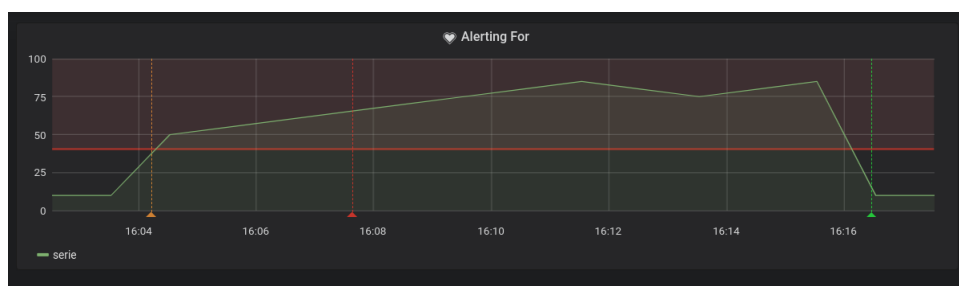


Figure 4.37: Exemplo de alerta en Grafana [51].

Grafana posibilita a configuración de alertas que avisen en caso de non recibir información nunha petición, en caso de producirse un erro na execución do programa ou en caso de que se experimente un *timeout*.

- Sen información/valores *Null*.
 - *NoData*: A alarma cambia a estado de *NoData*.
 - *Alerting*: A alarma cambia a estado de *Alerting*.
 - *Keep Last State*: A alarma mantén o estado no que se atopa.
- Erro de execución ou *timeout*.
 - *Alerting*: A alarma cambia a estado de *Alerting*.
 - *Keep Last State*: A alarma mantén o estado no que se atopa.

En caso de utilizar series temporais non fiables, sistemas de monitorización que poidan producir erros de lectura ou bases de datos que experimenten *timeouts*, pero que non

compromentan o funcionamento do sistema, é recomendable utilizar a opción *Keep Last State* para ignorar eses erros.

O sistema de notificacións de alarmas de Grafana soporta unha ampla variedade de plataformas. Algunhas posibilitan a renderización do panel asociado coa alarma como unha imaxe en formato Portable Network Graphics (PNG) e incluída na notificación. Algúns dos notificadores compatibles con Grafana son:

- Email.
- Discord.
- Google Hangouts Chat.
- Line.
- Microsoft Teams.
- Slack.
- Telegram.

Todas as alertas e os seus cambios de estado son rexistradas nun historial interno na base de datos de Grafana. Existe un panel específico para visualizar estes cambios de estado, que se mostran en forma de anotacións.

4.3.3 Control

No momento de desenvolvemento da presente tese as instalacións do Laboratorio de Investigación e Innovación (L2I) do CeDRI non dispoñen dos actuadores necesarios para a consecución dun ambiente intelixente completo, polo que non é posible que o sistema actúe de forma autónoma sobre o entorno para modificar as súas condicións. As alertas xeradas servirán como indicación aos individuos das accións que deben ser executadas manualmente.

Enuméranse agora as alertas a configurar e as condicións necesarias para que salten, así como as indicacións comunicadas aos individuos:

- Relativas ao nivel de luminosidade:
 - Escasa luminosidade no plano de traballo: O nivel de luminosidade no plano de traballo está por debaixo do límite marcado pola normativa vixente. Posibles indicacións:
 - * Indicación de subir as persianas.
 - * Utilizar máis puntos de luz artificial.
 - Excesiva luminosidade no plano de traballo: O nivel de luminosidade no plano de traballo supera do límite marcado pola normativa vixente. Posibles indicacións:
 - * Indicación de baixar as persianas.
 - * Apagar puntos de luz artificial en uso.
- Relativas á temperatura:
 - Exceso de temperatura no laboratorio: A temperatura detectada no interior do laboratorio excede o límite, por determinar, de confort dos individuos. Posibles indicacións:
 - * Abrir portas e xanelas en caso de que a temperatura exterior sexa inferior á do interior.
 - * Apagar os sistemas de calefacción ou reducir a temperatura fixada no termostato.
 - * Encender os sistemas de aire acondicionado.
 - Temperatura demasiado baixa no laboratorio: A temperatura detectada no interior do laboratorio non chega aos valores, por determinar, de confort dos individuos. Posibles indicacións:
 - * Pechar portas e xanelas.
 - * Encender os sistemas de calefacción ou aumentar a temperatura fixada no termostato.

- * Apagar os sistemas de aire acondicionado.
- Relativas á humidade:
 - Exceso de humidade no laboratorio: A humidade detectada no interior do laboratorio excede o límite, por determinar, de confort dos individuos. Este límite atópase en torno ao 70%.
 - Humidade demasiado baixa no laboratorio (entorno demasiado seco): A humidade detectada no interior do laboratorio non chega aos valores, por determinar, de confort dos individuos. Este límite atópase en torno ao 50%.
- Relativas á calidade do aire:
 - Necesidade de ventilación/ Desaloxar o espazo: Detección de concentracións elevadas de CO_2 ou de gases perxudiciais para a saúde. Posibles indicacións:
 - * En caso de tratarse dun exceso de CO_2 ou dalgún gas non perigoso recomendarase abrir portas e/ou xanelas para permitir a ventilación do espazo, co obxectivo de “renovar” o aire do laboratorio.
 - * En caso de tratarse dun gas que poida poñer en risco a saúde dos individuos recomendarase o desaloxamento do espazo.
- Alertas xeradas pola combinación de condicións:
 - Pechar portas por ausencia de individuos: Detectar que as portas de acceso ao laboratorio están abertas sen que se detecte presenza de individuos no interior.
 - Apagar os sistemas de iluminación artificial: En caso de detectar un nivel de luminosidade que implique que se está a usar luz artificial e de non detectar a presenza de personas no laboratorio.
 - Pechar portas e xanelas por baixa temperatura: Detectar que as portas e xanelas que dan ao exterior do laboratorio están abertas mentres que a temperatura interior se atopa por debaixo do rango de temperaturas de confort.

Chapter 5

Experimentos e resultados preliminares

Preséntanse neste capítulo as probas realizadas cos compoñentes escollidos e os resultados obtidos durante o desenvolvemento do proxecto. Coméntase tamén o sistema de monitorización creado no *framework* Grafana, que permite a visualización dos datos obtidos pola rede de sensores despregada no espazo de traballo.

5.1 Sensores

Realízanse probas do funcionamento dos sensores escollidos. Móstranse nas Figuras 5.1 e 5.2 os resultados das medidas obtidas cos sensores BH1750 e BME280, e CSS-811 respectivamente.

Na Figura 5.1 obsérvanse dúas medidas. Na segunda, tápase o sensor BH1750 coa man, polo que non detecta practicamente luminosidade.

Na Figura 5.2 móstranse seis medidas. Nas tres últimas respírase exhalando aire pola boca directamente sobre o sensor, de forma que as concentracións de CO_2 e partículas volátiles aumentan.

Compróbase o funcionamento dos sensores de presenza e de estado de apertura de portas e xanelas. Os sensores de presenza teñen un alcance de entre 2.5 e 3.5 metros,

```
BME280 & BH1750 test
Temperatura = 22.05 *C
Presión = 997.84hPa
Humidade = 52.39%
Iluminancia = 211 lx

Temperatura = 22.13 *C
Presión = 997.82hPa
Humidade = 52.14 %
Iluminancia = 4 lx
```

Figure 5.1: Resultado da proba de funcionamento dos sensores BH1750 e BME280..

```
CCS811 test
CO2: 400ppm, TVOC: 0
CO2: 400ppm, TVOC: 0
CO2: 400ppm, TVOC: 0
CO2: 765ppm, TVOC: 41
CO2: 724ppm, TVOC: 34
CO2: 689ppm, TVOC: 29
```

Figure 5.2: Resultado da proba de funcionamento do sensor CSS 811.

tal e como indica a documentación. Os sensores reed requiren estar practicamente en contacto coa peza imantada para detectar a súa presenza. A distancia que marca o límite para a detección é aproximadamente de 1 centímetro. Ao tratarse de sensores dixitais que unicamente devolven os valores 0 e 1 non se considera necesario engadir unha Figura que exemplifique.

5.2 Monitorización y control

Posibilitar a visualización clara e intuitiva das condicións ambientais e físicas monitorizadas pola rede de módulos distribuída no entorno é de grande importancia nos ambientes intelixentes, de forma que o usuario coñeza o estado do sistema en todo momento. No caso de estudo, a importancia deste feito vese incrementada debido a que todas as modificacións suxeridas polo sistema de cara a eficiencia enerxética deben ser realizadas de forma manual polos individuos, ante a inexistencia de sistemas actuadores que traballen de forma autónoma.

Deséñase un *dashboard* no *framework* Grafana formado por dúas seccións (Figura 5.3). A primeira denomínase “Condicións ambientais” (Figura 5.4) e inclúe a información relativa a temperatura, humidade, presión e nivel de luminosidade en todas as ubicacións. A segunda sección, chamada “Presenza/Apertura/Aire” (Figura 5.5), contén os datos relativos á presenza de individuos no entorno (un 1 indica que se detecta presenza e un 0 que non), ao estado de apertura de todas as portas e xanelas (un 1 indica “pechado” e un 0 indica “aberto”) e á calidade do aire (concentración total de partículas orgánicas volátiles e a concentración de eCO_2).

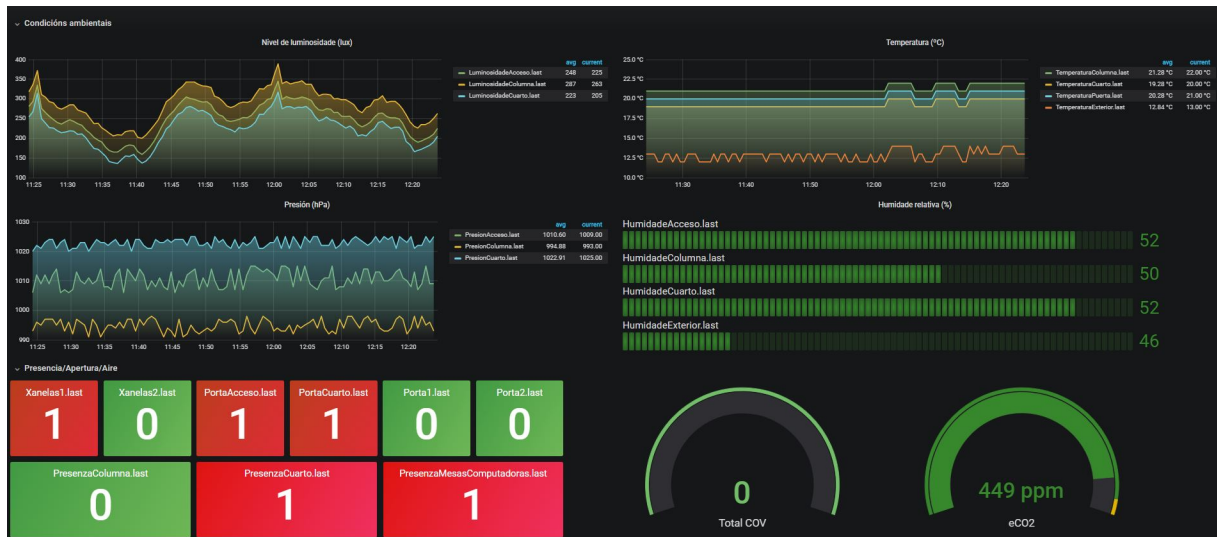


Figure 5.3: *Dashboard* de visualización deseñado ao completo.

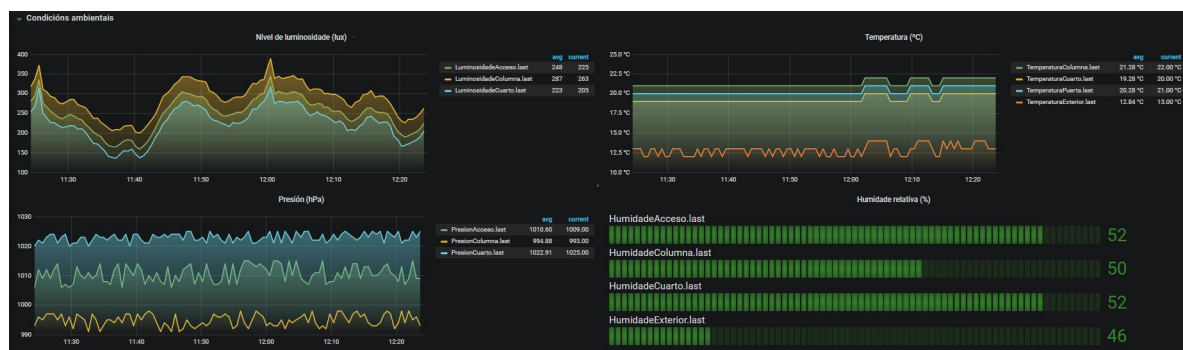


Figure 5.4: Sección “Condicións ambientais” do *dashboard* de visualización deseñado.

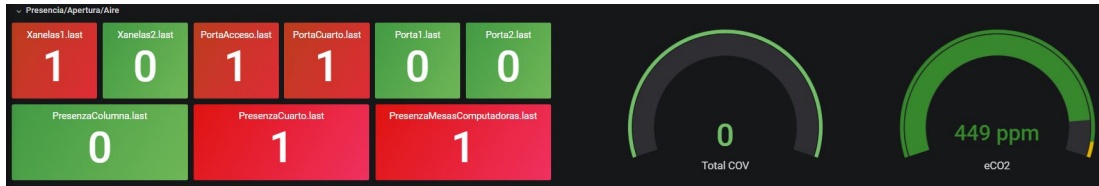


Figure 5.5: Sección “Presencia/Apertura/Aire” do *dashboard* de visualización deseñado.

O *dashboard* inclúe gráficas nas que se representa un conxunto de variables. Por exemplo, a gráfica na que se visualiza o nivel de luminosidade medido (Figura 5.6 inclúe as tres iluminancias monitorizadas (na porta de acceso ao laboratorio, na columna central e no cuarto de reunións). Grafana permite a visualización de variables de forma individualizada, seleccionando na lenda a magnitude desexada, como se mostra la Figura 5.7.



Figure 5.6: Gráfica de visualización do nivel de luminosidade monitorizado.



Figure 5.7: Visualización dun único nivel de luminosidade.

O *framework* permite establecer patróns de cores para as representacións gráficas facendo que a cor cambie en funcións do valor da variable, quedando dentro dun umbral de valores ou outro (Figura 5.8). Por exemplo, no caso das datos relativos á calidade do aire, a gráfica pasará de cor verde a cor amarelo cando o nivel de eCO_2 detectado supere os 455 pmm. Móstrase este exemplo nas Figuras 5.9) e 5.10).

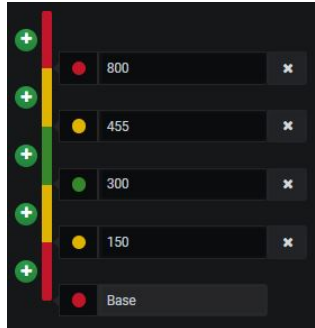


Figure 5.8: Exemplo de valores límite para o cambio de cor na representación grafica dos datos.



Figure 5.9: Representación das variables relativas á calidade do aire en cor verde.

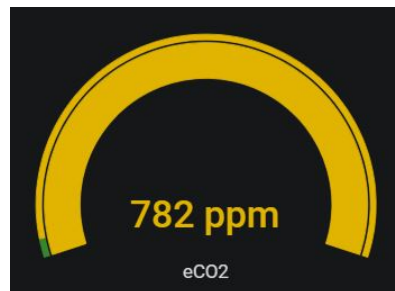


Figure 5.10: Representación das variables relativas á calidade do aire en cor amarelo.

Chapter 6

Conclusións

Múltiples motivos, como son a cuestión medioambiental e o prezo da enerxía, provocan que, tanto grandes empresas coma particulares, mostren interés no aforro enerxético. Neste contexto, o incremento da eficiencia enerxética das instalacións nos centros de traballo e residencia vese convertido nunha cuestión de suma importancia.

O *smart building* é unha das respostas do ámbito da construción á cuestión da eficiencia enerxética, promovendo a aplicación das novas tecnoloxías (automatización, sistemas intelixentes, tecnoloxías IoT) co obxectivo de conseguir os denominados como “ambientes intelixentes”. Este concepto fai referencia a espazos, xa sexan de traballo ou de residencia, que fan uso das novas tecnoloxías para facilitar e mellorar as actividades levadas a cabo neles mediante un sistema que aprende e se adapta ás necesidades dos individuos que nel se atopan.

O obxectivo deste proxecto é o desenvolvemento dunha solución *smart lab* mediante sistema de monitorización ambiental baseado en tecnoloxías IoT *low cost* no Laboratorio de Investigación e Innovación (L2I) do Research Centre in Digitalization and Intelligent Robotics (CeDRI) no Instituto Politécnico de Bragança. Búscase o incremento da eficiencia e a redución de gastos enerxéticos innecesarios no laboratorio.

Preténdese proxectar un sistema formado por compoñentes comerciais de baixo custo, encargado de realizar medicións das variables ambientais do espazo e posibilitar a toma de decisións enerxéticas orientadas cara a eficiencia. A instalación debe pasar desapercibida

aos individuos que desenvolven as súas tarefas no laboratorio, polo que o proxecto atopa a súa inspiración no *smart builing* e consiste nunha solución *smart lab* baseada en tecnoloxías IoT.

O sistema desenvolvido está formado por una rede de 7 módulos distribuídos no espazo, que, por medio de varios sensores, monitorizan unha serie condicións ambientais e físicas do entorno, por unha base de datos que recibe de forma inalámbrica e almacena esa información e por un sistema de visualización e representación gráfica no que observar as variables monitorizadas, e xestionar alertas relativas á cuestión enerxética.

Os diferentes módulos instalados conteñen, dentro dun compartimento fabricado mediante impresión 3D, unha placa de circuito impreso, na que se conectan diferentes compoñentes, entre os que destacan sensores para tomar as mostras e un microcontrolador encargado da comunicación da información.

A base de datos, realizada mediante o *software* InfluxDB, almacena a información recibida de todas as variables monitorizadas, e deséñase, no *framework* Grafana, un *dashboard* para a representación gráfica das mesmas, de forma que se posibilite que os usuarios visualicen o estado do ambiente e tomen decisións enerxéticas en función a debandita información.

O sistema deseñado presenta beneficios de cara á eficiencia enerxética no laboratorio, facilitando a obtención de aforros en recursos de iluminación e sistemas de calefacción e climatización. O aforro económico non é a única consecuencia dun uso responsable da enerxía, senón que incrementará o confort dos individuos e, por tanto, o rendemento no desempeño das actividades realizadas.

O desenvolvemento dun entorno intelixente é un proceso complexo, máis aínda ao tratarse dun proxecto *low cost*, polo que a presente tese non fai máis que comezar un camiño que será continuado por multitude de proxectos futuros. Neste momento, o sistema únicamente monitoriza e presenta a información ambiental do entorno, salvo por unha serie de alertas dirixidas aos usuarios, polo que é necesario a creación dun sistema intelixente que se encargue da toma de decisións enerxéticas e optimice o uso dos recursos. A definición de “ambiente intelixente” implica que o sistema debe ser autónomo, polo

que a instalación dunha rede de actuadores no laboratorio que se encarguen de executar as decisións tomadas polo sistema de control e xestión é outro proxecto básico para a consecución dos obxectivos definidos.

Bibliography

- [1] B. Mundial, *Consumo de electricidad per cápita*, https://www.google.es/publicdata/explore?ds=d5bncppjof8f9_&met_y=eg_use_elec_kh_pc&idim=country:ESP&dl=es&hl=es&q=consumo+el%C3%A9ctrico+espa%C3%B1a#!ctype=l&strail=false&bcs=d&nselm=h&met_y=eg_use_elec_kh_pc&scale_y=lin&ind_y=false&rdim=region&idim=country:ESP:USA:PRT&ifdim=region&hl=es&dl=es&ind=false, Xullo 2018.
- [2] M. F. José Alfonso Aranda Usón Sabina Scarpellini, “Análisis de la eficiencia energética en la industria española y su potencial de ahorro,” *Economía industrial. Dedicado a: Ecología industrial y desarrollo sostenible. Perspectivas sectorial e internacional. Núm. 352 Pág. 11-24*, 2013.
- [3] L. E. María Luisa Feijóo Bello José María Hernández, “Eficacia energética y regulación de la industria española ante el cambio climático,” *Estudios de economía aplicada. Dedicado a: Desarrollo sostenible. Vol. 21, Número 2. Pág. 259-282*, 2003.
- [4] Z. G. J. F. D. Rodrigues, “Structural transitions and energy use: A decomposition analysis of portugal 1995–2010,” *Economic Systems Research*, 28:2, 202-223, 2016.
- [5] S. M.V. Moreno L. Dufour, “Big data: The key to energy efficiency in smart buildings,” *Soft Computing* 20, 1749-1762, 2016.
- [6] F. B. M. Peña, “Rule-based system to detect energy efficiency anomalies in smart buildings, a data mining approach,” *Expert Systems with Applications, Volume 56, Pages 242-255*, 2016.

- [7] S. W. A. Steventon, *Intelligent Spaces: The Application of Pervasive ICT*, 1st. Birmingham, Reino Unido: Packt Publishing, Birmingham, 2016, ISBN: 10: 1786468026.
- [8] M. d. S. d. A. Larissa Souto Del Rio João Octávio Barros Silva, “Proposta de ambientes inteligentes iot sob a ótica da eficiência energética,” 2015.
- [9] G. M. D. Amaxilatis O. Akrivopoulos, “An iot-based solution for monitoring a fleet of educational buildings focusing on energy efficiency,” 2017.
- [10] M. Poongothai, P. M. Subramanian, and A. Rajeswari, “Design and implementation of iot based smart laboratory,” in *2018 5th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA)*, 2018, pp. 169–173.
- [11] T. El-Hasan, “Internet of thing (iot) based remote labs in engineering,” *2019 6th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT)*, pp. 976–982, 2019.
- [12] M. Poongothai, A. L. Karupaiya, and R. Priyadharshini, “Implementation of iot based smart laboratory,” *International Journal of Computer Applications*, vol. 182, pp. 31–34, 2018.
- [13] F. Saffre, “Tutorial ii: The green internet of things,” in *2015 11th International Conference on Innovations in Information Technology (IIT)*, 2015, pp. XXXVII–XXXVII.
- [14] Samsung SmartThings. Disponible en: <https://www.samsung.com/es/apps/smartthings/>, Consulta: Marzo, 2020.
- [15] Apple HomeKit. Disponible en: <https://www.apple.com/es/ios/home/>. Consulta: Abril, 2020.
- [16] R. A. Galega, *Definición de sensor según a real academia galega*, <https://academia.gal/diccionario/-/termo/busca/sensor>, Abril 2020.

- [17] Controlador ARM. Disponible en: https://developer.arm.com/-/media/Arm%20Developer%20Community/Images/Development%20Boards/Arm_Musca-A1_development_board.jpg?revision=26e3c92b-e015-4a41-840a-aab702129f86&h=427&w=500&la=en&hash=7747ACDA1F515A39097B77B06381AA991C954C02, Consulta: Abril, 2020.
- [18] SBC Raspberry Pi. Disponible en: https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/71RJj8SmQGL._AC_SX466_.jpg, Consulta: Abril, 2020.
- [19] SBC BeagleBone. Disponible en: https://static4.arrow.com/-/media/arrow/images/products/0617/bb-black_img1.jpg, Consulta: Abril, 2020.
- [20] D. Minoli, K. Sohraby, and B. Occhiogrosso, "Iot considerations, requirements, and architectures for smart buildings—energy optimization and next-generation building management systems," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 4, no. 1, pp. 269–283, 2017.
- [21] S. Rautmare and D. M. Bhalerao, "Mysql and nosql database comparison for iot application," in *2016 IEEE International Conference on Advances in Computer Applications (ICACA)*, 2016, pp. 235–238.
- [22] K. J. Betke E., "Real-time i/o-monitoring of hpc applications with siox, elastic-search, grafana and fuse. in: Kunkel j., yokota r., taufer m., shalf j. (eds) high performance computing. isc high performance 2017. lecture notes in computer science, vol 10524.," *Springer, Cham*, Oct. 2017.
- [23] Módulo BH1750. Disponible en: http://www.naylampmechatronics.com/170-large_default/modulo-sensor-de-luz-digital-bh1750.jpg, Consulta: Abril, 2020.
- [24] Módulo SHT10. Disponible en: https://ae01.alicdn.com/kf/HTB1FYqZib_I8KJjy1Xaq6zsexpXa4/Sensor-de-sonda-del-Sensor-de-humedad-y-temperatura-del-suelo-FS200-SHT10-higr-metro-de.jpg_q50.jpg, Consulta: Abril, 2020.

- [25] Módulo BME280. Disponible en: https://naylampmechatronics.com/1485-large_default/sensor-de-presiontemperatura-humedad-bme280.jpg, Consulta: Abril, 2020.
- [26] Módulo CSS811. Disponible en: <https://imgaz1.staticbg.com/thumb/large/oaupload/banggood/images/73/56/d6b66492-8ae9-4f77-8285-8a867a5d1b8d.JPG>, Consulta: Abril, 2020.
- [27] Módulo AM312. Disponible en: https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/61PrDrPJcPL._AC_SY355_.jpg, Consulta: Abril, 2020.
- [28] Sensor reed. Disponible en: https://www.todomicro.com.ar/5481-large_default/reed-switch-interruptor-magnetico-2x14mm.jpg, Consulta: Abril, 2020.
- [29] Sensor de consumo eléctrico IoTaWatt. Disponible en: https://iotawatt.com/assets/img/IoTaWatt_NA_400x400.jpg. Consulta: Abril, 2020.
- [30] R. K. Kodali and K. S. Mahesh, “Low cost ambient monitoring using esp8266,” in *2016 2nd International Conference on Contemporary Computing and Informatics (IC3I)*, 2016, pp. 779–782.
- [31] M. Schwartz, *Internet of Things with ESP8266*, 1st. Londres, Inglaterra: Springer-Verlag London, 2006, ISBN: 978-1-84628-429-8.
- [32] Variantes chip ESP8266. Disponible en: <https://www.luisllamas.es/wp-content/uploads/2018/03/esp8266-modulos.jpg>, Consulta: Abril, 2020.
- [33] Módulo ESP12 E. Disponible en: <https://ae01.alicdn.com/kf/HTB1B1F9cBDH8KJjy1zeq6xjepXaG.jpg>, Consulta: Abril, 2020.
- [34] Placa Wemos D1. Disponible en: https://cdn-tienda.bricogeek.com/5329-large_default/wemos-d1-wifi-esp8266.jpg, Consulta: Abril, 2020.
- [35] Placa Wemos D1 Mini. Disponible en: <https://www.hwlibre.com/wp-content/uploads/2019/11/wemos-di-mini.jpg>, Consulta: Abril, 2020.

- [36] Conector jumper. Disponible en: https://vetco.net/spree/products/60691/product_preview_4x3/open-uri20160601-21382-12o0bow.jpg, Consulta: Abril, 2020.
- [37] Conector de correcte continua de 5V (*poer jack femia*). Disponible en: <https://tectronix.cl/wp-content/uploads/2019/12/Jack-power-hembra.jpg>, Consulta: Abril, 2020.
- [38] Reductor lineal AMS1117 3P - 3.3V. Disponible en: <https://ae01.alicdn.com/kf/HTB1wX41ex3IL1JjSZPfQ6ArUVXaV.jpg>, Consulta: Abril, 2020.
- [39] Conector borne. Disponible en: <https://static.rapidonline.com/catalogueimages/product/52/38/s52-3859p01w1.jpg>, Consulta: Abril, 2020.
- [40] Panel Solar. Disponible en: <https://ae01.alicdn.com/kf/HTB1WR.AJ3aTBuNjSszfQ6xgfpXae.jpg>, Consulta: Abril, 2020.
- [41] Módulo CN3065. Disponible en: <https://ae01.alicdn.com/kf/HTB1SXses4WYBuNjy1zkq6xGGpXaD.jpg>, Consulta: Abril, 2020.
- [42] O. G. Energy, *Solar powered wifi weather station v2.0*, <https://www.instructables.com/id/Solar-Powered-WiFi-Weather-Station-V20/>, Consulta: Marzo, 2020.
- [43] Batería de iones litio VCR 18650B. Disponible en: https://ae01.alicdn.com/kf/HTB1wq_JaIyYBuNkSnfoq6AWgVXaz.jpg, Consulta: Abril, 2020.
- [44] R. Harrison, "Natural ventilation effects on temperatures within stevenson screens.," *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, Xaneiro 2010.
- [45] Stevenson screen. Disponible en: https://cdn.shopify.com/s/files/1/1256/7113/products/M11_2.jpg?v=1527194516, Consulta: Abril, 2020.
- [46] G. Lewis, Modelo Stevenson Screen utilizado. Disponible en: <https://www.thingiverse.com/thing:3615016>. Consulta: Marzo, 2020.
- [47] Librería ESP8266 InfluxDB. Disponible en: <https://www.arduino-libraries.info/libraries/esp8266-influxdb>, Consulta: Marzo, 2020.

- [48] Using InfluxDB in Grafana. Grafana Documentation. Disponible en: <https://grafana.com/docs/grafana/latest/features/datasources/influxdb/>, Consulta: Abril, 2020.
- [49] S. Y. Syeda Noor Zehra Naqvi, "Time series databases and influxdb," *Universite libre de Bruxelles*, Dec. 2017.
- [50] Ejemplos de gráficos disponibles en Grafana. Disponible en: <https://i.pinimg.com/originals/d0/32/35/d03235c4651630f7f455b4b095f2b62f.png>, Consulta: Abril, 2020.
- [51] Ejemplo de alerta en Grafana. Disponible en: <https://grafana.com/static/img/docs/v54/alerting-for-dark-theme.png>, Consulta: Abril, 2020.