

Disseny i implementació d'una instal·lació domòtica basada en una solució Open Source de baix cost

Albert Fàbrega Coll

Gener 2023

Índex

| | |
|---|----|
| Índex..... | 2 |
| Índex taules | 5 |
| Índex figures | 5 |
| 1. Introducció..... | 8 |
| 1.1. Antecedents..... | 9 |
| 1.2. Objectius | 10 |
| 1.2.1. Objectius secundaris..... | 10 |
| 1.3. Abast del TFG | 11 |
| 1.4. Funcionalitat | 11 |
| 1.5. Normativa | 12 |
| 1.6. Planificació del TFG..... | 13 |
| 2. Programari de gestió d'instal·lacions domòtiques | 16 |
| 2.1. Estudi de les diferents opcions Open Source..... | 16 |
| 2.1.1. ioBroker | 16 |
| 2.1.2. Domoticz | 17 |
| 2.1.3. OpenHAB | 18 |
| 2.1.4. Home Assistant | 20 |
| 2.1.5. Elecció del software..... | 21 |
| 3. Protocols de comunicació | 25 |
| 3.1. Estudi dels diferents opcions de protocols de comunicació..... | 25 |
| 3.1.1. X10..... | 25 |
| 3.1.2. INSTEON | 26 |
| 3.1.3. Bluetooth Low Energy..... | 28 |
| 3.1.4. WiFi | 30 |
| 3.1.5. MQTT | 31 |
| 3.1.6. KNX..... | 32 |
| 3.1.7. LonWorks | 34 |

| | | |
|---------|--|----|
| 3.1.8. | Z-Wave..... | 35 |
| 3.1.9. | ZigBee..... | 36 |
| 3.1.10. | Elecció del protocols utilitzats..... | 38 |
| 4. | Arquitectura del sistema..... | 40 |
| 4.1. | Tipus d'arquitectura..... | 40 |
| 4.1.1. | Sistemes domòtics centralitzats..... | 40 |
| 4.1.2. | Sistemes domòtics descentralitzats..... | 40 |
| 4.1.3. | Sistemes domòtics distribuïts..... | 41 |
| 4.1.4. | Sistemes domòtics híbrids o mixes..... | 41 |
| 4.1.5. | Elecció..... | 42 |
| 5. | Hardware..... | 45 |
| 5.1. | Encaminador de la companyia de telecomunicacions..... | 45 |
| 5.2. | Centraleta domòtica..... | 45 |
| 5.2.1. | Raspberry PI 4 model B..... | 45 |
| 5.2.2. | ODROID-C4..... | 46 |
| 5.2.3. | Asus Tinker Board 2s..... | 48 |
| 5.2.4. | Intel NUC NUC7CJYHN UCFF Negro J4005 2 GHz..... | 49 |
| 5.2.5. | Elecció de la centraleta domòtica..... | 50 |
| 5.3. | Coordinador de la xarxa ZigBee..... | 51 |
| 5.3.1. | ConBee II ZigBee Port USB Universal..... | 52 |
| 5.3.2. | CC2531USB-RD amb antena externa..... | 53 |
| 5.3.3. | Elecció del coordinador de la xarxa ZigBee..... | 53 |
| 5.4. | Encaminador i dispositius finals de la xarxa Zigbee..... | 53 |
| 5.4.1. | Sensor de temperatura i humitat SONOFF SNZB-02(dispositiu final de la xarxa ZigBee)..... | 54 |
| 5.4.2. | Sensor detector fums Aqara ZigBee (dispositiu final de la xarxa ZigBee) 55 | |
| 5.4.3. | Sensor per detectar les fugues d'aigua Aeotec SmartThings Water Leak Sensor (dispositiu final de la xarxa ZigBee)..... | 56 |

| | | |
|---------|---|----|
| 5.4.4. | Sensor SONOFF SNZB-04 detector d'obertura de porta/finestra (dispositiu final de la xarxa ZigBee) | 56 |
| 5.4.5. | Sensor de moviment SONOFF SNZB-03 (dispositiu final de la xarxa ZigBee) 57 | |
| 5.4.6. | Rele Tuya Smart ZigBee (encaminador de la xarxa ZigBee) | 58 |
| 5.4.7. | Termòstat MOES (encaminador de la xarxa ZigBee)..... | 59 |
| 5.4.8. | Actuador per obertura d'aigua per regar el jardí Smart Garden Irrigation Control ZigBee 3.0 TUYA (dispositiu final de la xarxa ZigBee)..... | 59 |
| 5.4.9. | Actuador de radiador intel·ligent Tuya ZigBee (dispositiu final de la xarxa Zigbee) 60 | |
| 5.4.10. | Actuador per la motorització de persianes Vivogar (encaminador de la xarxa ZigBee) | 61 |
| 5.4.11. | INNR bombeta ZigBee 3.0 tipus E27 -RGBW + Multi blanc ajustable – 2200K a 6500K (encaminador de la xarxa Zigbee) | 62 |
| 5.5. | Distribució dels dispositius per l'habitatge en la nostra instal·lació..... | 63 |
| 6. | Solució desenvolupada..... | 67 |
| 6.1. | Disseny de la solució desenvolupada | 67 |
| 6.2. | Prova instal·lació Home Assistant i els complements necessaris per el nostre sistema domòtic en una màquina virtual..... | 67 |
| 6.3. | Accés remot a la solució domòtica..... | 71 |
| 6.3.1. | Accés remot utilitzant el servei Nabu Casa..... | 71 |
| 6.3.2. | Accés remot utilitzant DuckDNS i certificat SSL emès per Encrypt. | 71 |
| 6.3.3. | Elecció de l'accés remot a la solució domòtica..... | 72 |
| 6.4. | Solucions d'alta disponibilitat, de redundància i que permetin solucionar els problemes del sistema domòtic proposat. | 72 |
| 6.5. | Seguretat de la solució | 74 |
| 6.6. | Escalabilitat del projecte | 80 |
| 7. | Pressupost de la solució | 82 |
| 8. | Conclusions | 84 |
| 9. | Referències i bibliografia..... | 85 |
| 10. | Agraïments..... | 89 |

| | |
|------------------|----|
| 11. Annex 1..... | 90 |
|------------------|----|

Índex taules

| | |
|---|----|
| Taula 1. Any arribada al mercat electrodomèstics..... | 9 |
| Taula 2. Planificació del TFG | 14 |
| Taula 3. Descripció dels conceptes en openHAB..... | 18 |
| Taula 4. Funcionalitats de cada solució de software | 21 |
| Taula 5. Popularitat del software per els desenvolupadors | 22 |
| Taula 6. Requisits mínims de hardware | 22 |
| Taula 7. Requisits recomanables de hardware | 23 |
| Taula 8. Característiques protocols de comunicació | 38 |
| Taula 9. Comparació de centraletes domòtiques | 50 |
| Taula 10. Redundància per votació 2oo3 | 74 |
| Taula 11. Resum cost dispositiu de la instal·lació..... | 82 |

Índex figures

| | |
|--|----|
| Figura 1. Sistema domòtic..... | 8 |
| Figura 2. Planificació del TFG (Diagrama de Gantt)..... | 15 |
| Figura 3. Arquitectura d'un sistema domòtic genèric. | 16 |
| Figura 4. Arquitectura d'un sistema ioBroker. | 17 |
| Figura 5. Arquitectura d'un sistema Domoticz..... | 18 |
| Figura 6. Arquitectura d'un sistema OpenHab. | 19 |
| Figura 7. Arquitectura conceptual d'un sistema OpenHab. | 20 |
| Figura 8. Arquitectura del sistema principal de Home Assistant..... | 21 |
| Figura 9. Funcionament de treball de la tecnologia X10. | 26 |
| Figura 10. Funcionament INSTEON i la seva compatibilitat amb els protocols X10 i A10. | 27 |

| | | |
|------------|--|----|
| Figura 11. | Estructura jeràrquica del protocol Bluetooth Low Energy. | 28 |
| Figura 12. | BLE Network Gateway Solution. | 30 |
| Figura 13. | MQTT Publish/Subscribe Architecture. | 31 |
| Figura 14. | Protocol KNX. | 32 |
| Figura 15. | Protocol Z-Wave. | 35 |
| Figura 16. | Funcionament del protocol ZigBee. | 36 |
| Figura 17. | Esquema de comunicacions similar a la solució proposada. | 39 |
| Figura 18. | Tipologies de xarxes ZigBee. | 42 |
| Figura 19. | Arquitectura de la solució proposada. | 44 |
| Figura 20. | Placa Raspberry PI 4 model B. | 46 |
| Figura 21. | Disseny de la placa ODROID-C4. | 48 |
| Figura 22. | Placa Asus Tinker Board 2s. | 49 |
| Figura 23. | ConBee II Zigbee Puerto USB Universal. | 53 |
| Figura 24. | Sensor de temperatura i humitat SONOFF SNZB-02. | 54 |
| Figura 25. | Sensor detector fums Aqara ZigBee. | 55 |
| Figura 26. | Aeotec SmartThings Water Leak Sensor. | 56 |
| Figura 27. | Sensor SONOFF SNZB-04 detector d'obertura de porta/finestra. | 57 |
| Figura 28. | Funcionament del Sensor de moviment SONOFF SNZB-03. | 58 |
| Figura 29. | Rele Tuya Smart ZigBee. | 59 |
| Figura 30. | Termòstat MOES. | 59 |
| Figura 31. | Dispositiu Smart Garden Irrigation Control ZigBee 3.0 TUYA. | 60 |
| Figura 32. | Actuador de radiador intel·ligent Tuya ZigBee. | 61 |
| Figura 33. | Vivogar per perisanes. | 62 |
| Figura 34. | Bombeta INNR. | 63 |
| Figura 35. | Plànol de la casa on es pot veure la distribució del dispositius. | 64 |
| Figura 36. | Esquema per veure el possible rang de senyal del coordinador Conbee II. | 66 |
| Figura 37. | Plànol on es poden veure els dispositius de la xarxa ZigBee i el seu abast. | 66 |

| | | |
|------------|---|----|
| Figura 38. | Esquema general dels dispositius escollits per la solució proposada en aquest projecte i quin protocol utilitzen per comunicar-se. | 67 |
| Figura 39. | Comparació mètodes d'instal·lació d'Home Assistant. | 68 |
| Figura 40. | Home Assistant instal·lant-se en una màquina virtual des de virtualbox | 69 |
| Figura 41. | Creació d'un compte Home Assistant que s'ha instal·lat en una maquina virtual. | 69 |
| Figura 42. | Creació usuari en Home Assistant. | 70 |
| Figura 43. | Complements instal·lats en Home Assistant. | 70 |
| Figura 44. | Configuració de l'arxiu configuration.yaml. | 71 |
| Figura 45. | Criptografia de corbes el·líptiques per la tecnologia ZigBee. | 77 |
| Figura 46. | Plànol de la casa en que s'ha basat l'estudi | 90 |

1. Introducció

És possible realitzar un disseny i implementació d'una instal·lació domòtica basada en una solució Open Source de baix cost per una casa aïllada? Sí, ho és gràcies a la tecnologia desenvolupada en els últims anys en l'àmbit de les solucions domòtiques.

En el mercat hi ha una gran quantitat d'opcions per automatitzar les tasques d'un habitatge, en aquest projecte del grau en enginyeria informàtica titulat "Disseny i implementació d'una instal·lació domòtica basada en una solució Open Source de baix cost" es descriu com és possible la implementació d'un sistema domòtic per l'automatització d'un habitatge aïllat mitjançant un sistema obert i de baix cost. Aquest projecte es desenvoluparà en el marc de l'assignatura "Administració de Xarxes i Sistemes Operatius" del grau d'Enginyeria Informàtica de la UOC. L'objectiu principal és el disseny d'una instal·lació domòtica que permeti automatitzar aspectes de l'habitatge com la gestió elèctrica, el confort de temperatura o els tancaments d'un habitatge, descrit en l'Annex 1. El projecte es centrarà en descriure i analitzar diferents opcions i determinar quina és la millor opció dins del marc del software Open Source com a programari de la solució, l'arquitectura del sistema, i la forma en que es comuniquen els diversos dispositius o aspectes de seguretat.

En resum, es realitzarà el disseny de la implementació de la solució per una casa domòtica, tenint en compte les diverses solucions de software Open Source que es poden aplicar, analitzant-los i escollint el millor en base: als protocols de comunicació estàndards entre els diferents dispositius de la xarxa domòtica, el hardware, el tipus de servidor, i l'arquitectura de la instal·lació, així com als aspectes de configuració de seguretat.



Figura 1. Sistema domòtic. Foto d'Autor desconegut esta sota llicència CC BY-NC-ND

1.1. Antecedents

La domòtica ha evolucionant al llarg del segle XX, les primeres màquines van començar a fer tasques de la llar a principis del segle XX, el 1903 van sortir al mercat els primers electrodomèstics. Abans d'aquests primers electrodomèstics hi havien altres màquines però no suposaven cap revolució a nivell domòtic. No obstant, els electrodomèstics eren assequibles, podien treballar amb electricitat i eren manejables, característiques que si van provocar que aquests equips generessin una revolució social.

A continuació, en la Taula 1, es mostra quan van arribar al mercat una sèrie d'electrodomèstics. La informació d'aquesta taula ens permet veure com va anar evolucionant el món dels electrodomèstics durant el segle XX.

Taula 1. Any arribada al mercat electrodomèstics

| Any | Electrodomèstic |
|------|---|
| 1903 | Planxa de roba lleugera elèctrica |
| 1907 | Aspirador elèctric |
| 1909 | Torradora elèctrica |
| 1913 | Nevera elèctrica domèstica i rentaplats |
| 1927 | Trituradores domèstiques per el desaigua. |
| 1930 | Rentadora |
| 1935 | Assecadora |
| 1951 | Cafetera elèctrica |

Font: <https://sistemas24h.com/blog/cuando-aparece-domotica/>

Les primeres instal·lacions domòtiques o primeres cases intel·ligents van aparèixer a la dècada dels seixanta del segle XX. L'any 1966 es va llençar el primer dispositiu capaç de gestionar varies tasques de la llar (la televisió, la temperatura de la casa o el despertador), era l'ECHO IV, i ocupava les dimensions d'una habitació. Aquest equip va tenir un baix grau de penetració en el mercat i poca acceptació per les seves dimensions i la dificultat d'ús, però va assentar les bases de la domòtica actual.

No va ser fins a finals de segle, a la dècada dels anys 90, que amb l'augment de l'ús d'internet, es van popularitzar prestacions com la teleassistència vinculada a centraletes remotes, i aquestes solucions va començar a tenir èxit. Des de llavors, els electrodomèstics han anat adaptant-se a l'anomenat "Internet de les coses (IoT)", incorporant sistemes que permeten funcions remotes que poden ser predeterminades o bé modificables.

Però és l'any 2007, amb l'aparició dels telèfons intel·ligents, tenim un nou salt important. La introducció d'aquests aparells va revolucionar internet.

Actualment, es pot considerar que s'està vivint una nova revolució, la de l'IoT, on la domòtica juga un paper fonamental.

1.2. Objectius

Un dels principals problemes de les instal·lacions domòtiques actualment és que encara tenen un preu elevat, sobretot si es realitza un disseny amb sistemes propietaris. L'objectiu d'aquest TFG és plantejar una prova de concepte teòrica, que demostrï que és possible realitzar un disseny i implementar un sistema de domòtica basada en una solució Open Source de baix cost, i complir amb els requeriments establerts.

1.2.1. Objectius secundaris

Els requeriments o objectius secundaris d'aquest projecte tenen el propòsit de definir les funcionalitats i característiques per complir les necessitats de l'usuari final del sistema. A continuació es mostren els requeriments que ha de complir aquesta instal·lació:

- La solució ha d'utilitzar un software Open Source i els protocols de comunicació han de ser estàndards i oberts.
- Tot el desenvolupament del sistema es basa en solucions de codi obert.
- L'administració de dades ha de ser controlada per l'usuari final.
- La solució ha de ser de baix cost. Alhora de realitzar el disseny de la solució es buscarà opcions econòmiques per la nostra instal·lació.
- La interfície del sistema ha de ser desenvolupada amb tecnologia web. D'aquesta forma pot ser controlada des de qualsevol dispositiu.
- Les comunicacions entre els diversos dispositius del sistema han de ser sense fils. D'aquesta manera s'evitarà augmentar el cost del projecte amb obres complexes a l'habitatge.
- En el disseny i implementació de la solució ha de seguir la normativa vigent sobre instal·lacions de domòtica.
- S'ha de poder integrar-hi dispositius de diferents fabricats.
- La instal·lació ha d'estar disponible 24 hores el dia durant tots els dies de l'any. La nostra solució ha d'estar sempre disponible.
- S'han de poder controlar en temps real les variables de l'entorn, com ara la temperatura interior, la temperatura exterior, la humitat, etc.
- La solució ha de ser escalable. La solució ha de permetre anar afegint dispositius si és necessari.

1.3. Abast del TFG

L'abast del treball final de grau inclou la cerca bibliogràfica d'informació sobre sistemes de domòtica Open Source de baix cost. Amb tota la informació recopilada sobre aquests sistemes és desenvolupa l'estudi teòric sobre el disseny i la implementació de la instal·lació domòtica de baix cost a un habitatge amb software Open Source (Annex 1). A més, per valorar el seu potencial real, es realitzaran petites proves de la solució teòrica en l'entorn d'Oracle VM.

1.4. Funcionalitat

Per assolir l'objectiu del treball final de grau (TFG) que és automatitzar el disseny i implementació d'un sistema domòtica basada en una solució Open Source de baix cost serà indispensable que la solució proposada suporti les següents funcionalitats:

Automatització i control:

- **Control de l'habitatge.** Control de tots els elements de l'habitatge ja sigui de forma local o remota i amb independència del mitjà emprat (internet, telèfon, sense fils, etc).

Seguretat:

- **Alarmes tècniques:**
 - o Detecció de fugues d'aigua.
 - o Detecció de foc o incendi.
- **Alarmes d'intrusió:**
 - o Detectores de moviments, detectors d'obertura de finestres/porta o de trencament.

Telecomunicacions:

- **Xarxes de dades.**
 - o Xarxes d'àrea local LAN.
 - o Xarxes d'àrea local sense fils WLAN.

Confort:

- **Control de d'il·luminació.**
 - o Encesa, apagada i regulació.

- Control per presència, per il·luminació exterior, per tipus d'activitat, per programació horària, per esdeveniment, etc.
- Regulació de la lluminària basat en la llum natural.
- Connexió o desconnexió de la il·luminació general.
- **Control de persiana i tendals.**
 - Pujar, baixar e inclinació de les làmines de les persianes motoritzades, tendals i cortines.
 - Control per presència per condicions meteorològiques, per activitat, per programació horària, per esdeveniment, etc.
 - Connexió o desconnexió del control de persianes o tendals general.
- **Climatització.**
 - Control del sistema de calefacció i de refrigeració de forma conjunta.
 - Encesa i apagada de la climatització.
 - Zonificació segons l'ús.
 - Control per presència, per temperatura, per zones, per programació horària, etc. Amb el control de la climatització.
 - Control local i remotament.
- **Control del rec automàtic.** En funció de programació horàries, de la humitat, de la temperatura, etc.

1.5. Normativa

Actualment no existeix una llei que unifiqui tots els criteris per les instal·lacions domòtiques, però si se s'ha desenvolupat una norma elaborada pels comitès per la normalització de l'Associació Espanyola de Normalització i Certificació (AENOR), l'EA0026. Aquesta norma fa referència a les instal·lacions de sistemes domòtics en la llar i s'ha convertit en el document de referència per la futura norma europea UNE-EN 50491-6-1.

A continuació s'anomenen les lleis sobre domòtica.

Legislació Europea: la Comissió Europea marca el camí amb dos directives de rang elevat, sobre les normatives del sector domòtic.

- Directiva CE 2006/95/CE de baixa tensió.
- Directiva CE 89/336/CE de Compatibilitat Electromagnètica, que va ser derogada en 2009 per la 2004/108/CE.

Legislació de l'Estat Espanyol:

- S'ha de complir amb el Codi Tècnica de l'Edificació.
- Reglament d'Infraestructures Comunes de Telecomunicacions, segons el RD 346/2011 que s'encarrega de regular tots els sistemes que es relacionen amb la transmissió de vídeo, cablejat, entre altres.
- Reglament Electrotècnic de baixa tensió, segons el RD 842/2022

Requisits mínims a complir en les instal·lacions de domòtica : les empreses que es dediquen a la domòtica que estan en l'Associació Espanyola de Domòtica i Immòtica (CEDOM), han definit una especificació que serveix de referència per la certificació de instal·lacions domòtiques, i que es basa en AENOR AE0026.

Normes tècniques:

- En 50090 "Home and Building Electronic Systems" protocol Konnex. És un estàndard per les comunicacions de sistemes electrònics de la llar i de la construcció. Aquesta normativa cobreix per qualsevol instal·lació dispositius electrònics connectats a una xarxa de transmissió digital.
- EN/ISO 16848 "Building Automation and Control Systems". Aquesta és una normativa internacional que especifica les característiques dels software i funcions que s'usen en els processos d'automatització, també proposa directives d'enginyeria.
- Normes UNE-EN 50491 per Sistemes Electronics d'Habitatge i Edificis, i Sistemes d'Automatització i Control d'Edificis. Són les següents normes que s'han de complir quan es realitza una instal·lació domòtica:
 - o EN 50491-2. Condicions ambientals.
 - o EN 50491-3. Requisits de seguretat elèctrica.
 - o EN 50491-4-1. Requisits de compatibilitat electromagnètica i condicions generals.
 - o UNE-EN 50491-6-1. Instal·lacions HBES.
 - o UNE-EN 50491-11. Mesurament intel·ligent.
- EA 0026 d'AENOR sobre instal·lacions domòtiques. La normativa EA 0026 permet certificar instal·lacions domòtiques d'acord a una classificació amb tres nivells, començant per el bàsic que és el nivell 1 fins l'excel·lent que és el nivell 3. Es considera que és un sistema de domòtica si arriba el nivell 1.

1.6. Planificació del TFG

A continuació es mostra la planificació que s'ha realitzat del TFG, Taula 2, on es pot veure quina previsió de temps s'ha dedicat per cada una de les tasques d'aquest projecte.

Taula 2. Planificació del TFG

| Tasca | Inici tasca | Final tasca | Duració tasca |
|--|-------------|-------------|---------------|
| PAC1 - Proposta de pla de treball | 28/09/2022 | 16/10/2022 | 18 |
| Parlar amb el tutor del TFG | 28/09/2022 | 07/10/2022 | 9 |
| Recerca d'informació inicial sobre domòtica | 28/09/2022 | 13/10/2022 | 15 |
| Realització de la descripció de la proposta | 07/10/2022 | 10/10/2022 | 3 |
| Enumerar els objectius del TFG | 07/10/2022 | 10/10/2022 | 3 |
| Enumerar requeriments | 07/10/2022 | 10/10/2022 | 3 |
| Realitzar la planificació | 11/10/2022 | 15/10/2022 | 4 |
| Realitzar l'esbós del sumari | 11/10/2022 | 15/10/2022 | 4 |
| Correcció i entrega PAC 1 | 15/10/2022 | 16/10/2022 | 1 |
| PAC2 - Entrega de l'entre el 40% i el 60% de tot el TFG | 17/10/2022 | 20/11/2022 | 34 |
| Recerca d'informació sobre les solucions Open Source | 17/10/2022 | 25/10/2022 | 8 |
| Recerca d'informació sobre els protocols de comunicació dels dispositius | 22/10/2022 | 01/11/2022 | 10 |
| Recerca d'informació sobre el hardware | 22/10/2022 | 07/11/2022 | 16 |
| Anàlisi i elecció de la solució de software Open Source | 25/10/2022 | 01/11/2022 | 7 |
| Anàlisi i elecció dels protocols comunicació | 01/11/2022 | 09/11/2022 | 8 |
| Anàlisi i elecció dels dispositius | 07/11/2022 | 15/11/2022 | 8 |
| Redacció dels documents que s'entregaran a la PAC2 | 15/11/2022 | 19/11/2022 | 4 |
| Revisió dels documents que s'entregaran a la PAC2 | 19/11/2022 | 20/11/2022 | 1 |
| PAC3 - Entrega de l'entre el 80% i el 90% de tot el TFG | 21/11/2022 | 25/12/2022 | 34 |
| Realitzar el disseny de la solució | 21/11/2022 | 09/12/2022 | 18 |
| Realitzar la configuració de la solució | 28/11/2022 | 15/12/2022 | 17 |
| Anàlisi de la seguretat de la solució | 10/12/2022 | 20/12/2022 | 10 |
| Realitzar el pressupost del projecte | 15/12/2022 | 22/12/2022 | 7 |
| Redacció dels documents que s'entregaran a la PAC3 | 15/12/2022 | 23/12/2022 | 8 |
| Revisió dels documents que s'entregaran a la PAC3 | 23/12/2022 | 25/12/2022 | 2 |
| Entrega Final: Memòria i presentació | 26/12/2022 | 15/01/2023 | 20 |
| Anàlisi de la estabilitat de la solució | 26/12/2022 | 31/12/2022 | 5 |
| Redactar conclusions | 26/12/2022 | 10/01/2023 | 15 |
| Redactar la bibliografia | 01/01/2023 | 10/01/2023 | 9 |

| | | | |
|-------------------------------------|------------|------------|-----|
| Revisió final de tots els documents | 10/01/2023 | 15/01/2023 | 5 |
| TFG | 28/09/2022 | 15/01/2023 | 109 |

En la següent figura, Figura 2, es pot veure el diagrama de Gantt amb la planificació seguida durant la realització del TFG.

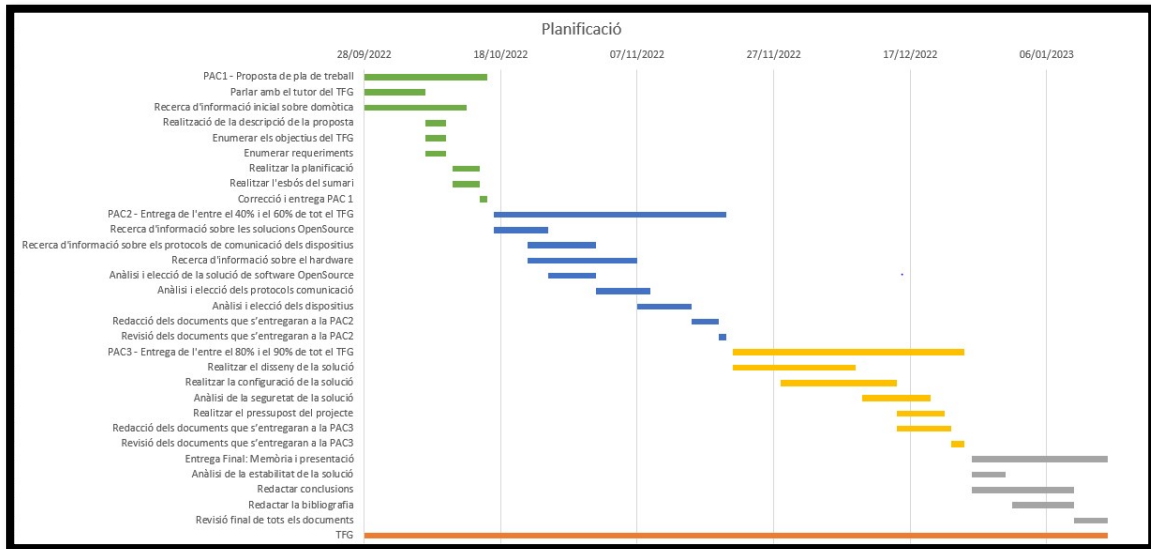


Figura 2. Planificació del TFG (Diagrama de Gantt).

2. Programari de gestió d'instal·lacions domòtiques

2.1. Estudi de les diferents opcions Open Source

El software Open Source i l'arquitectura d'aquest influirà en les capacitats i les característiques del propi sistema per poder complir amb els objectius secundaris que s'han concretat per aquest projecte.

En aquest estudi s'analitzen les opcions d'ioBroker, Domoticz, openHAB i Home Assistant. Aquestes quatre arquitectures tenen molts punts en comú i en els següents apartats es procedirà analitzar-les en profunditat per determinar quina és la millor opció per la nostra instal·lació domòtica. A continuació es mostra una figura, Figura 3, on es pot veure l'arquitectura d'un sistema genèric de domòtica.

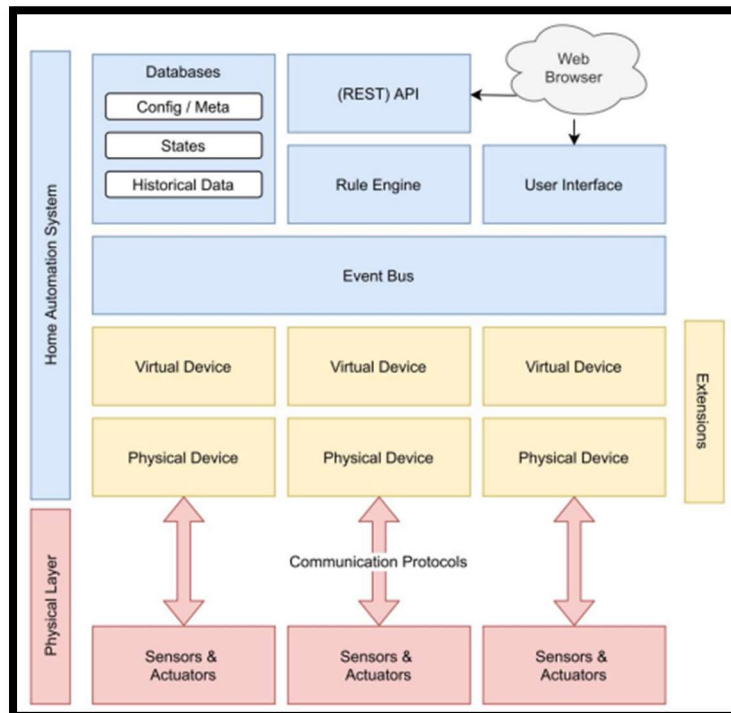


Figura 3. Arquitectura d'un sistema domòtic genèric. [Consulta: 11 de novembre del 2022]

Disponible: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=965253>

6

2.1.1. ioBroker

ioBroker és una solució de programari per l'automatització d'un habitatge. Permet connectar una gran varietat de sistemes domèstics intel·ligents, que serien solucions aïllades sense ioBroker, per tal que es puguin controlar de manera integral.

ioBroker és la plataforma d'integració per dispositius IoT i permet la integració de productes comercials de gairebé tots els àmbits de la vida o la integració d'una solució de creació pròpia. El sistema ioBroker té una estructura modular i es pot ampliar instal·lant adaptadors individuals per satisfer els requisits individuals. Consta de més de 450 adaptadors que implementen la integració de diverses plataformes, sistemes i dispositius.

En la següent figura, Figura 4, es mostra com ioBroker coordina i connecta els diferents sistemes domèstics intel·ligents i altres serveis com a sistema central. Els adaptadors disponibles a ioBroker poden comunicar sistemes domèstics intel·ligents específics del fabricant, d'aquesta manera el programari ioBroker pot llegir informació d'estat o activar accions de control.

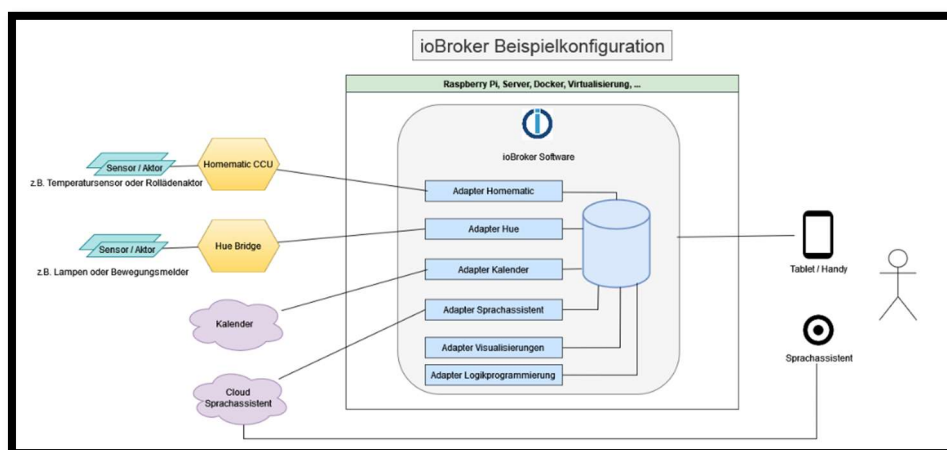


Figura 4. Arquitectura d'un sistema ioBroker. [Consulta: 11 de novembre del 2022] Disponible:<https://www.iobroker.net/#en/intro>

2.1.2. Domoticz

Domoticz és un software lliure de control domòtic que permet supervisar i configurar dispositius com: llums, interruptors, sensors/mesuradors de temperatura, pluja, vent, UV, electricitat, gas, humitat, etc. Domoticz està dissenyat per treballar en varis sistemes operatius, la interfase d'usuari és escalable en HTML5, que s'adapta automàticament a ordinadors i a dispositius mòbils, i que també és compatibles amb tots els navegadors.

En la següent figura, Figura 5, es pot observar l'arquitectura d'un sistema domòtic Domoticz.

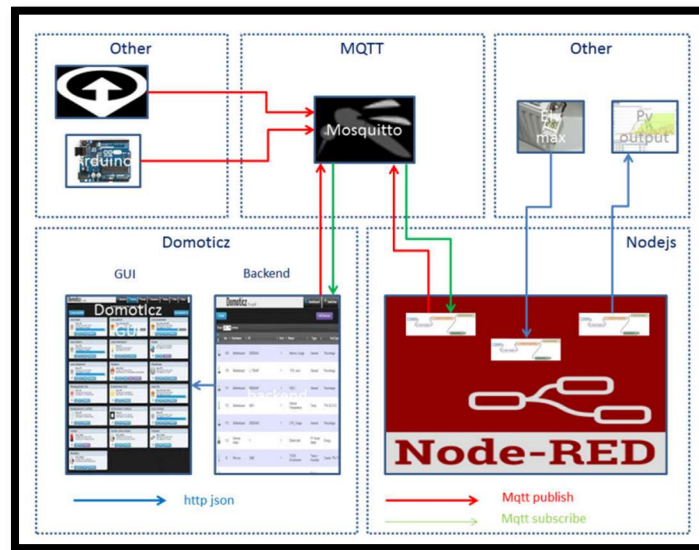


Figura 5. Arquitectura d'un sistema Domoticz. [Consulta: 11 de novembre del 2022]

Disponible: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=965253>

6

2.1.3. OpenHAB

Open Home Automation Bus (OpenHAB) és una plataforma o sistema d'automatització de la llar a través d'Open Source. És el controlador o centre de la teva instal·lació domòtica.

OpenHAB és un software que controla i gestiona la instal·lació domòtica de la nostra llar. Permet conviure amb infinitats de protocols de comunicació domòtics diferents. Aquests protocols seran dirigits des d'un únic sistema, sense necessitat de tenir infinitat d'aplicacions per gestionar els diferents dispositius que podem tenir a l'habitatge.

OpenHAB es comunica electrònicament amb dispositius intel·ligents i no tant intel·ligents, realitza accions definides per l'usuari i proporciona pàgines web amb informació definida per l'usuari, així com eines definides per l'usuari per interactuar amb tots els dispositius. Per aconseguir-ho, openHAB segmenta i compartimenta determinades funcions i operacions. La taula següent, Taula 3, ofereix una descripció de nivell superior dels conceptes més importants.

Taula 3. Descripció dels conceptes en openHAB

| Conceptes | Significat |
|-----------------|--|
| Enquadernacions | són el component openHAB que proporciona la interfície per interactuar electrònicament amb els dispositius |
| Coses | són la primera representació openHAB (programari) generada dels dispositius |
| Canals | són la connexió openHAB (programari) entre "Coses" i "Elements" |
| Elements | són la representació generada de la informació sobre els dispositius (programari) openHAB |
| Normes | que realitzen accions automàtiques (en la seva forma més senzilla: si passa "això", openHAB farà "això") |
| Mapa del lloc | és la interfície d'usuari generada (lloc web) openHAB (programari) que presenta informació i permet interaccions |

Font: <https://www.openhab.org/docs/>

En les següent figures, Figures 6 i 7, es pot veure l'arquitectura de openHAB.

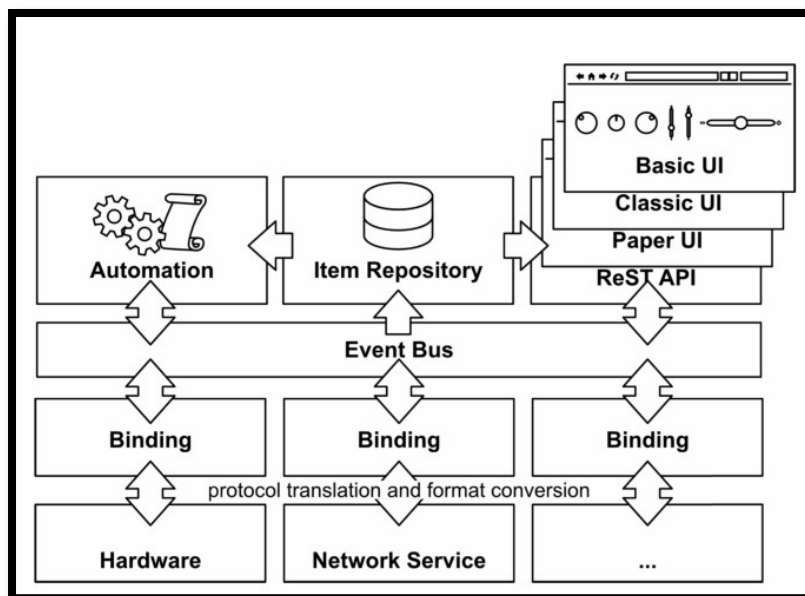


Figura 6. Arquitectura d'un sistema OpenHab. [Consulta: 11 de novembre del 2022]

Disponible: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=965253>

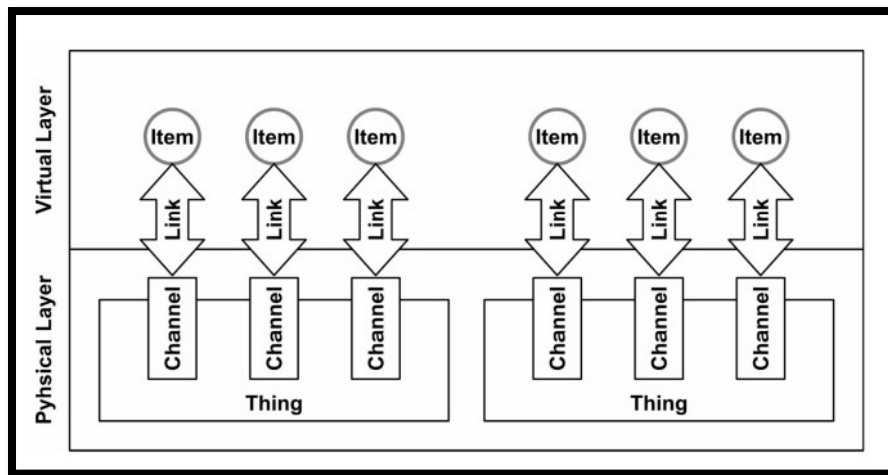


Figura 7. Arquitectura conceptual d'un sistema OpenHab. Disponible: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9652536>

2.1.4. Home Assistant

Home Assistant és un software gratuït i de codi obert per l'automatització de la llar que està dissenyat per ser el sistema de control central per dispositius domèstics intel·ligents enfocat en el control local i la privacitat. A continuació es descriu les característiques del software:

- Es pot utilitzar Home Assistant a través d'un servidor Web que té instal·lat o bé es pot utilitzar una app per telèfons intel·ligents Android o iOS.
- Es pot instal·lar en varis sistemes i és fàcil d'utilitzar.
- El sistema Home Assistant es pot utilitzar en 4 formats diferents, els dos primers per usuaris principiants (Sistema operatiu Home Assistant i Home Assistant Container) i els altres dos per usuaris experts (Home Assistant Core i Home Assistant Supervised).

En la següent figura, Figura 8, es pot veure l'arquitectura

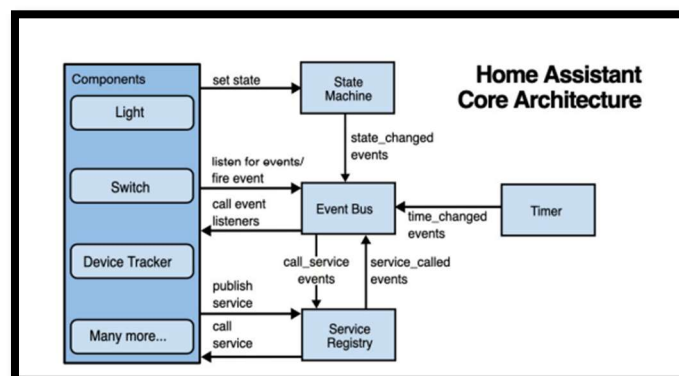


Figura 8. Arquitectura del sistema principal de Home Assistant. [Consulta: 11 de novembre del 2022]

Disponible: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=965253>

6

2.1.5. Elecció del software

En aquest apartat es realitza una comparació de les funcionalitats i característiques de les opcions Open Source estudiades per la nostra instal·lació domòtica.

Primer es realitza una comparació de les funcionalitats de cada una de les solucions estudiades. El resum de les funcions que són compatibles per cadascuna de les opcions estudiades es mostren a la Taula 4. Si el suport es natiu o casi natiu el símbol a la taula és "S", si el suport és compatible amb una solució de tercers o és complex implementar-la el símbol a la és "E" i finalment no és compatible el símbol és "N".

Taula 4. Funcionalitats de cada solució de software

| Funcionalitat / Software | Home Assistant | Domoticz | openHAB | ioBroker |
|-------------------------------|----------------|----------|---------|----------|
| ePaper | E | E | E | E |
| panell | S | S | S | S |
| Seguiment GPS | S | E | S | E |
| Detecció de presència | S | S | S | S |
| Notificació mòbil | S | S | S | S |
| Sensor de lectura | S | S | S | S |
| Dispositiu-Accionament | S | S | S | S |
| Normes d'automatització | S | S | S | S |
| Transmissió multimèdia | S | E | S | S |
| Comandament a distància mòbil | S | E | S | E |
| Trucades d'API externes | S | S | S | S |

| | | | | |
|----------------------------------|---|---|---|---|
| Programador | S | S | S | S |
| Autorització biomètrica d'usuari | S | N | E | E |

Font: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9652536>

Com es pot veure en la taula anterior la majoria de funcionalitats són semblants en les quatre opcions estudiades, però el software que té més funcionalitats de forma nativa és Home Assistant.

A continuació també es realitza un anàlisi basat en criteris importants alhora d'escollir el software:

- **Actualitzacions dels software:** les quatre solucions estudiades s'actualitzen de forma regular.
- **Popularitat del software per els desenvolupadors:** en les següent taula, Taula 5, es pot veure la popularitat del desenvolupador segons Mètrica Stargazers que ens ha servit de referent per valorar quina és la popularitat de cada software pels desenvolupadors. Segons aquesta comparació, Home Assistant és el més populars entre els desenvolupadors.

Taula 5. Popularitat del software per els desenvolupadors

| Sistema | Puntuación Stargazers Metric |
|----------------|------------------------------|
| Home Assistant | 4,53 |
| Domoticz | 3,43 |
| openHAB | 2,49 |
| ioBroker | 2,84 |

Font: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9652536>

- **Suport:** cap dels quatre sistemes domòtics proporciona pla de suports. El suport el donen les comunitats en forma de xats i fòrums de discussió.
- **Requeriments de hardware mínim:** en la Taula 6, es mostra quin és el mínim model de Raspberry Pi que requereix cada solució de software. Com es pot veure el software que requereix més recursos és Home Assistant i el que menys Domoticz.

Taula 6. Requisits mínims de hardware

| Sistema | Requisits mínims de hardware |
|----------------|------------------------------|
| Home Assistant | Raspberry Pi 3 Model B |
| Domoticz | Raspberry Pi 1 Model B+ |
| openHAB | Raspberry Pi 2 Model B |

| | |
|----------|------------------------|
| ioBroker | Raspberry Pi 2 Model B |
|----------|------------------------|

Font: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9652536>

- **Requeriments de hardware recomanats:** en la Taula 7, es descriu quin és el mínim model de Raspberry Pi recomanable per cada solució de software. Com es pot veure el software on és recomanable tenir millor hardware són Home Assistant i ioBroker.

Taula 7. Requisits recomanables de hardware

| Sistema | Requisits recomenables de hardware |
|----------------|------------------------------------|
| Home Assistant | Raspberry Pi 4 Model B |
| Domoticz | Raspberry Pi 3 Model B |
| openHAB | Raspberry Pi 2 Model B |
| ioBroker | Raspberry Pi 4 Model B |

Font: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9652536>

- **Extensibilitat:** Home Assistant i openHAB proporcionen widgets d'interfície gràfica oficials i altres maneres per personalitzar-la. Per contra, els altres dos sistemes, Domoticz i ioBroker, només admeten widgets de tercers.
- **Capacitat de resposta:** tots els sistemes d'automatització estudiats proporcionen una interfície d'usuari que respon en telèfons intel·ligents, tauletes i altres dispositius mòbils. Ara bé, a diferència de la resta, la interfase d'usuari de Domoticz no té capacitat de resposta.
- **Autenticació d'usuari:** Domoticz, openHAB i ioBroker només ofereix sistemes d'autenticació bàsics com a mètode d'inici de sessió. Home Assistant és l'únic sistema que proporciona webauthn com mètode d'inici de sessió addicional. A més, Home Assistant admet sistemes autenticació multi factor i la verificació d'autenticació de dos factors.
- **Comptes d'usuaris múltiples:** les quatre solucions Open Source estudiades admeten diverses comptes d'usuaris.
- **Gestió d'autoritzacions:** tant Domoticz com ioBroker proporcionen algun tipus de gestió d'autorització. Home Assistant i openHAB no proporciona gestió d'autorització.
- **Extensions personalitzades:** les quatre solucions estudiades de domòtica proporcionen els mitjans perquè els seus sistemes s'ampliïn amb funcionalitats addicionals mitjançant extensions personalitzades o complements.
- **Recompte d'extensions:** el nombre d'extensions disponibles per Home Assistant és molt superior a la resta dels software estudiats.

- **Escalabilitat:** ioBroker admet una configuració en mode multi-amfitrió que fa possibles que diverses instàncies funcionin en paral·lel, mentre que openHAB admet una versió especial anomenada openHAB-cloud que permet la descàrrega al núvol o a un clúster local. En el cas de Home Assistant i Domoticz no ofereixen una escalabilitat horitzontal.

En conclusió, després haver realitzat una comparació a nivell de funcionalitats i característiques, la millor opció és Home Assistant que té els següents avantatges respectes a les altres opcions analitzades:

- És la solució que té més funcionalitats.
- És l'opció més popular tant a nivell d'usuaris com a nivell de desenvolupadors.
- És una solució que proporciona widgets oficials per personalitzar la interfície gràfica.
- És l'únic sistema que proporciona webauthn com mètode d'inici de sessió addicional. A més, Home Assistant admet autenticació multi factor i autenticació de dos factors. Per tant, és més segur.
- És la solució que té més extensions disponibles.
- És una solució que es basa en una instal·lació local i és senzilla de realitzar.

Encara que l'opció escollida per aquest projecte és Home Assistant per totes les seves prestacions, també cal mencionar quins desavantatges suposa l'elecció d'aquesta opció:

- És necessari habilitar l'accés i les redireccions dels ports.
- Hi ha algunes integracions que requereixen l'edició d'arxius YAML.
- No és possible una gestió d'autorització.
- És una solució que és difícil d'escalar.
- El cost del hardware és lleugerament superior a la resta donat que necessita versions més actuals de la Raspberry Pi per fer funcionar el sistema.

3. Protocols de comunicació

3.1. Estudi dels diferents opcions de protocols de comunicació.

Els protocols de comunicació influeixen en les capacitats i les característiques del propi sistema i són necessaris per poder complir amb els objectius secundaris que s'han concretat en aquest projecte.

Els protocols de comunicació són el conjunt de regles que s'estableixen en el procés de comunicació entre dispositius del sistema domòtic. Els protocols de comunicació utilitzats en els sistemes domòtics poden ser oberts o tancats. Els protocols de comunicació tancats pertanyen a un fabricant específic i només el fabricant pot realitzar actualitzacions i crear equips amb el mateix llenguatge de programació. Els protocols de comunicació oberts són de caràcter universal i són compatibles amb diferents dispositius. En els següents apartats es mostren els protocols comunicació estudiats per aquest treball: X10, INSTEON, Bluetooth Low Energy (BLE), Wireless Fidelity (WiFi), Message Queuing Telemetry Transport (MQTT), KNX, LonWorks, Z-Wave i ZigBee.

3.1.1. X10

El protocol de comunicació X10, serveix per comunicar els productes compatibles amb X10 per instal·lacions domòtiques. La comunicació entre dispositius aprofita la instal·lació elèctrica existent de l'habitatge (no és necessari instal·lar nou cablejat pel sistema domòtic).

Els protocols d'automatització X10 estan dissenyats perquè puguin ser instal·lats fàcilment per qualsevol persona sense necessitats de coneixements especials. Cada dispositiu té una direcció a la que respon o envia, existeixen un total de 256 direccions. Tots els productes X10 són compatibles entre si de manera que es poden combinar per formar el sistema més adequat segons cada instal·lació.

En las següent figura, Figura 9, es pot veure com treballa el protocol X10.

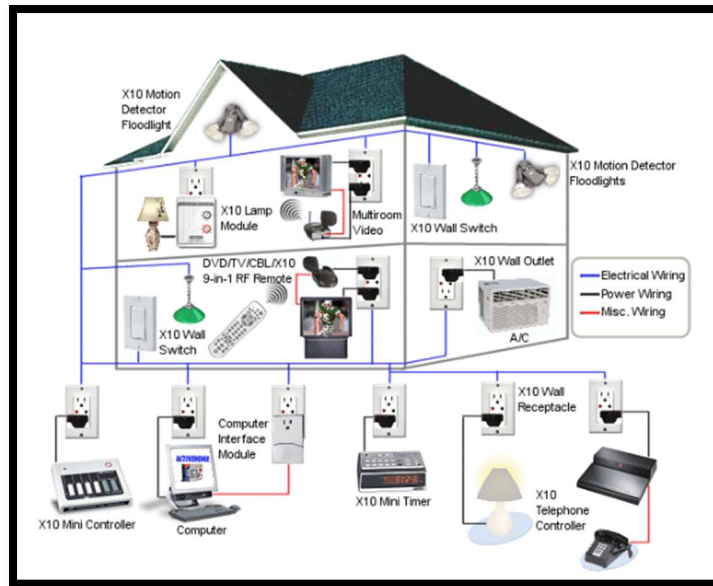


Figura 9. Funcionament de treball de la tecnologia X10. [Consulta: 09 de novembre del 2022]. Disponible: <https://docplayer.es/76238009-Capitulo-4-el-sistema-x-10.html>

Avantatges del protocol X10:

- Molt utilitzat: X10 és un protocol que està molt present a nivell global.
- Simple d'instal·lar i configurar: es connecten els mòduls en els equips a controlar i s'assignen direccions a través de qualsevol dispositiu de control remot compatible amb X10.
- Econòmic: és dels protocols de domòtica més econòmic.

Desavantatges del protocol X10:

- Interferències: la pròpia gènesis del sistema que comparteix la comunicació i l'alimentació dels equips en la mateixa onda, implica que esta subjecte a la senyal de xarxa que arriba a l'habitatge.
- Uni-direccionalitat: els dispositius X10 són uni-direccionals ja que no es pot mostrar el seu estat una vegada enviada la senyal.
- Poca versatilitat: el sistema X10 no disposa de funcions lògiques programables que permetin realitzar funcions complexes.

3.1.2. INSTEON

INSTEON és un protocol híbrid dissenyat per el fabricant SmartLabs per controlar la comunicació dels dispositius per dos medis físics de comunicació amb cable i altre sense

fil. La comunicació amb el medi físic cable es basa amb el protocol X10. El segon protocol de treball es per medi sense fils i utilitza senyals de RF. Aquesta dualitat de canals de transport de dades li dona a aquest protocol una avantatge considerable respecte a altres protocols, ja que tots els dispositius INSTEON que s'alimenten des de la xarxa elèctrica posseeix tant X10 millorat com RF. Per tant, el protocol INSTEON és molt menys susceptible a interferències de tot tipus, respecte a altres sistemes domòtics. Quan es requereix una xarxa domòtica més robusta, INSTEON utilitza acobladors de fase en la línia elèctrica per assegurar la estabilitat de la comunicació. La seva tecnologia de detecció d'errors actua repetint el reenviament del missatge.

En la següent figura, Figura 10, es pot veure esquema de funcionament d'INSTEON i la seva compatibilitat amb els protocols X10 i A10. El protocol INSTEON emet senyals INSTEON a través de la xarxa elèctrica (130 Khz) i senyals RF radio freqüència (868 Mhz), aquestes senyals són copiades i repetides per qualsevol mòdul instal·lat en la xarxa. A més, d'aconseguir la compatibilitat amb els mòduls X10 i el concentrador INSTEON emet senyals X10 (120 Khz). Aquestes senyals no són copiades i repetides per els mòduls INSTEON.

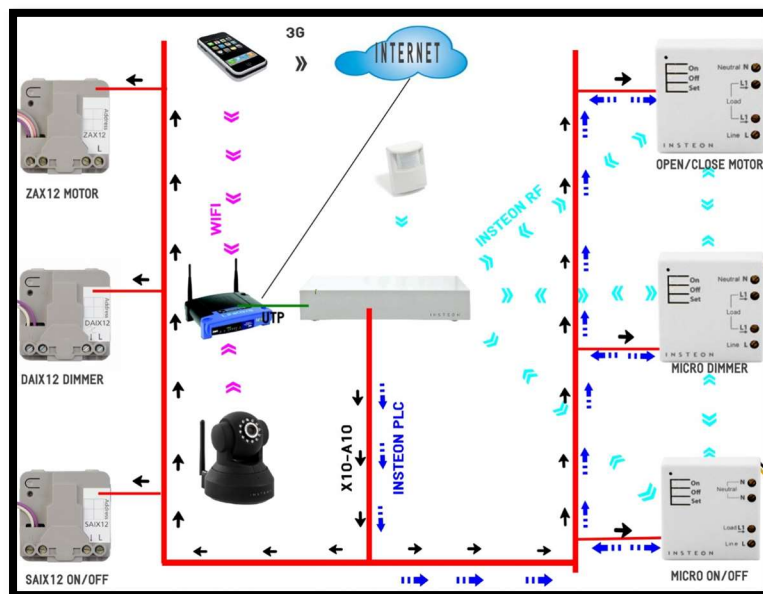


Figura 10. Funcionament INSTEON i la seva compatibilitat amb els protocols X10 i A10. [Consulta: 09 de novembre del 2022] Disponible: <https://alhenaing.wordpress.com/protocolo-insteon/>

Avantatges del protocol INSTEON:

- Els comandaments d'INSTEON són fàcils d'assimilar i s'envien simultàniament a tots els dispositius d'una escena.

- Cada dispositiu INSTEON té un identificador únic.
- Són repetidors de difusió simultània.
- Són de doble via i amb detecció d'errors.
- Les senyals de radiofreqüència INSTEON i les senyals de la xarxa elèctrica es recolzen entre elles.
- INSTEON té un rang extens de direccions i espai d'instruccions.
- INSTEON és compatible amb el protocol original X10.
- Harmonitza la comunicació en el cablejat de potència amb la comunicació.
- Els seus productes són fàcils d'instal·lar i configurar.
- Interfície d'usuari fàcil d'utilitzar per qualsevol individu.
- Cada usuari pot adquirir els mòduls que requereix per una aplicació específica.
- Controlabilitat remota del sistema domòtic.

Desavantatges del protocol INSTEON:

- Els preus dels dispositius són més cars respecte a altres tecnologies.

3.1.3. Bluetooth Low Energy

Bluetooth Low Energy (BLE) és una tecnologia sense fils basada en el conegut protocol Bluetooth 4.0. A diferència del Bluetooth clàssic que genera trames de dades en sèrie, el Bluetooth de baixa energia funciona amb una estructura jeràrquica com la que es veu en la següent figura, Figura 11:

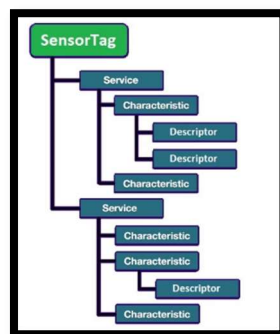


Figura 11. Estructura jeràrquica del protocol Bluetooth Low Energy. [Consulta: 09 de novembre del 2022] Disponible: https://es.linkedin.com/pulse/c%C3%B3mo-funciona-bluetooth-low-energy-ble-grupo-vida-ip?trk=pulse-article_more-articles_related-content-card

Com es pot veure en la figura, tot dispositiu que utilitza Bluetooth de baixa energia posseeix serveis que a la seva vegada estan compostos per característiques i que a la seva vegada estan compostos per descriptors.

En resum,:

- **Servei:** agrupació de característiques que tenen coses en comú.
- **Característica:** posseeix un valor en específic.
- **Descriptor:** permeten definir amb més detall una característica.

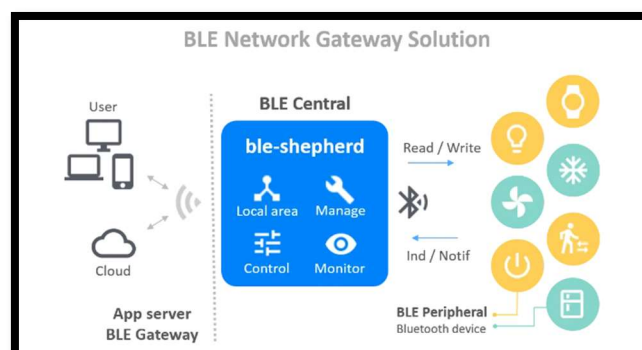
Avantatges del protocol Bluetooth Low Energy:

- És un protocol de baix consum d'energia.
- És simple d'utilitzar.
- Té capacitat d'implantació de forma nativa per la majoria de dispositius mòbils, fet que el fa altament accessible.
- No consumeix dades.
- Millora la seguretat de la transmissió de dades, gràcies al xifrat de dades que ofereix l'algoritme AES128 en les seves comunicacions.

Desavantatges del protocol Bluetooth Low Energy:

- L'abast del protocol és petit, encara que pot variar segons la versió i escenaris d'ús.
- Perd molta eficiència amb els obstacles i la distància.
- No es pot usar de forma remota.
- La transmissió de dades no és molt ràpida.

En la següent figura, Figura 12, es pot veure la solució que ofereix el protocol Bluetooth Low Energy.



*Figura 12. BLE Network Gateway Solution. [Consulta: 09 de novembre del 2022]
Disponible: <https://microcontrollerslab.com/bluetooth-low-energy-working-applications/>*

3.1.4. WiFi

Wireless Fidelity (WiFi) és un conjunt d'especificacions per les xarxes d'àrea local sense fils (WLAN), basat en l'estàndard IEEE 802.11. Amb la tecnologia WiFi, és possible implementar xarxes que connectin ordinadors i altres dispositius (telèfons intel·ligents, tauletes intel·ligents, consoles de videojocs, impressores, dispositius de domòtica, etc) que són pròxims geogràficament. Aquestes xarxes no requereixen l'ús de cables, ja que efectuen la transmissió de dades per medi de radiofreqüència.

Tots els productes que reben el certificat per la WiFi Alliance, segueixen les normes de funcionalitat que assegura la interoperabilitat amb altres equips. L'estàndard 802.11 estableix normes per la creació i per l'ús de les xarxes sense fils. La transmissió d'aquests tipus de xarxes és feta per senyals de radiofreqüència, que es propaga per l'aire i pugui cobrir àrees grans. Com que hi ha una gran varietat de serveis que poden emprar senyals de radio, es fonamental que cada un actuï segons les exigència que estableixi el govern de cada país. Aquesta és una bona forma d'evitar inconvenients, especialment interferències.

Avantatges del protocol WiFi:

- És un sistema sense fils.
- Es pot controlar qualsevol dispositiu a la nostra xarxa WiFi des de l'exterior de la xarxa si hi ha accés a Internet.
- Tots els dispositius es connectant directament al encaminador, al punt d'accés WiFi o al sistema WiFi mesh, ja sigui en la banda de 2,4 GHz o 5 GHz. No es necessari cap tipus de centralita per connectar-los a la xarxa local.

Desavantatges del protocol WiFi:

- Cada dispositiu que es connecta a una xarxa WiFi consumeix dades i fa que el sistema funcioni de forma més lenta.
- El WiFi està compartit amb altres clients sense fils que es connecten a la xarxa en 2,4 GHz o 5 Ghz, per tant és possible hi hagi una alta latència en alguns moments.
- La cobertura es converteix en un requisit essencial.
- L'estructura dels habitatges dificulta la cobertura dels dispositius.

- Alt consum energètic dels dispositius.
- Existeixen interferències WiFi amb habitatge veïns, sobre tot si s'utilitza els 2,4 GHz per connectar els diferents dispositius.

3.1.5. MQTT

Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) és un protocol de comunicació obert que es distingeix per la seva lleugeresa i senzillesa, per el qual es pot utilitzar amb èxit en microcontroladors petits amb recursos hardware limitats i també quan es tracta d'un ample de banda d'enllaç baix. Aquestes característiques fan que aquest protocol sigui molt adequat per utilitzar-lo amb IoT. Actualment el protocol MQTT s'utilitza per una ampla varietat de tasques d'industrials, però està en plena expansió degut el seu ús en l'IoT. En la següent figura, Figura 13, es pot veure l'arquitectura del protocol MQTT.

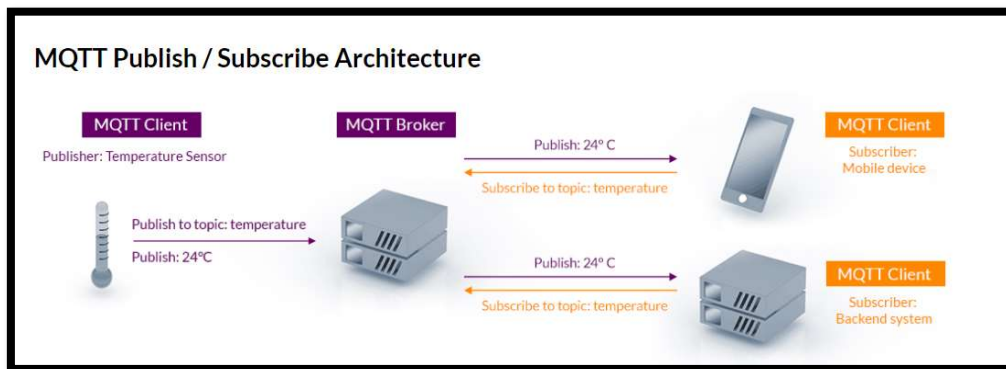


Figura 13. MQTT Publish/Subscribe Architecture. [Consulta: 09 de novembre del 2022] Disponible:<https://mqtt.org/>

Avantatges del protocol MQTT:

- És compatible amb moltes plataformes com són Arduino, ESP8266 o Raspberry PI. Hi ha moltes biblioteques i solucions descrites per utilitzar-lo, de manera que es pot començar a utilitzar de manera fàcil i ràpida.
- Baix ús de la xarxa, degut a la minimització dels paquets de dades.
- Reducció de l'ample de banda de la xarxa.
- Transmissió de dades eficients i ràpid d'implementar degut a que és un protocol lleuger.
- Distribució eficient de les dades.
- Ús de petites quantitats d'energia.
- Implementació exitosa de la teledetecció i el control.
- Entrega de missatges de forma ràpida i eficients.

- És possible millorar qualsevol MQTT client sense gaires programes complementaris, fet que el converteix amb una eina molt competitiva per l'ús en dispositius amb poca memòria, com Arduino.

Desavantatges del protocol MQTT:

- És difícil crear una xarxa MQTT globalment escalable.
- MQTT té cicles de transmissió més lents en comparació amb CoAP.
- MQTT no està encriptat. Utilitza TLS/SSL per el xifrat de seguretat.
- El descobriment de recursos de MQTT funciona amb una subscripció de temes flexibles, mentre que CoAP utilitza un sistema estable de descobriment de recursos.

3.1.6. KNX

KNX és una tecnologia que va aparèixer l'any 1997 a partir de la unió de tres protocols de domòtica (Batibus, EIB i EHS). Les especificacions de KNX van ser publicades el 2002 per la KNX Association. La especificació es basa en la d'EIB i es completa amb nous mecanismes de configuració i medis físics originalment desenvolupats per Batibus i EHS.

KNX Association té acords amb més de 21000 companyies integradores en 70 països, més de 50 universitats tècniques i també amb més de 100 centres de formació.

En la següent figura, Figura 14, es pot veure l'arquitectura del protocol KNX.

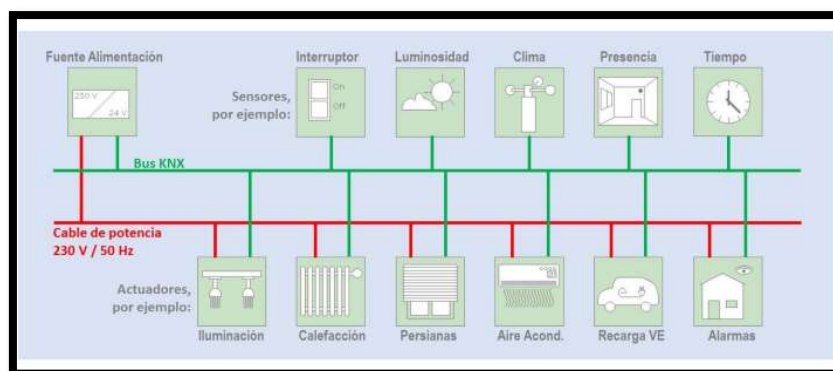


Figura 14. Protocol KNX. [Consulta: 09 de novembre del 2022]

Disponible: https://www.knx.es/_data/landingsfiles/7_Qu%C3%A9%20es%20KNX.pdf

Avantatges del protocol KNX:

- Els productes que són etiquetats amb la marca registrada KNX, estan obligats a comunicar-se i comprendre el llenguatge KNX.
- Llibertats d'elecció dins l'ampli número de fabricants de KNX. Hi ha una gran catàleg de dispositius amb el protocol KNX.
- Compleix l'estàndard internacional (ISO/IEC 14543-3).
- Hi ha una eina que és independent de l'aplicació i del fabricant. S'anomena "Engineering Tool Software (ETS) i permet el disseny, la implementació i la configuració de la instal·lació en tots els productes que disposin de certificats KNX.
- Té una àmplia gama de medis de transmissió (TP, PL, RF e IP):
 - o Par trenat (KNX TP):KNX que és transmès a través d'un cable bus separat, amb una estructura jerarquizada en línies i àrees.
 - o Corrents portadors (KNX PL): KNX que és transmès sobre la xarxa elèctrica existent.
 - o Radio freqüència (KNX RF): KNX que és transmès per senyals de radio. Aquests dispositius poden ser unidireccionals o bidireccionals.
 - o IP/Ethernet (IP KNX): aquest conegut mètode de comunicació pot ser usat en conjunció amb les especificacions "KNXnet/IP", que permeten enviar trames KNX encapsulades en trames IP.
- És un protocol amb continu desenvolupament en la construcció de passarel·les que s'adapten dispositius KNX a altres sistemes (com DALI i BACnet).

Desavantatges del protocol KNX:

- Seguretat: si es punxa el cable BUS d'una instal·lació es pot accedir a la xarxa. En un futur quedarà solucionat usant la xarxa TCP/IP com transport (BUS) i encapsulant el protocol KNX per enviar-lo sota la protecció i seguretat del protocol d'internet. A més també es preveu millorarà la velocitat de transmissió i economitzar el cable Ethernet.
- Dificultat de maneig: ETS és molt robust, però no és senzill de manejar, no es pot simular situacions pre programades, no està orientat a objectes amb els que es pot interactuar (rebre informació i poder ser enllaçat amb esdeveniments, botons, etc). S'han creat eines complementaries al ETS o softwares de visualitzacions per interactuar amb el sistema de manera més senzilla, però encara queda molt per fer en les següents generacions del software.
- Cost: els productes KNX solen ser per el general més cars que altres productes de domòtica, encara que hi hagi marques KNX que tenen producte en el catàleg a preus més assequibles.

3.1.7. LonWorks

LonWorks és una plataforma de control creada per la companyia nord-americana Echelon al 1990. El protocol LonWorks consta d'una barreja de hardware i firmware sobre un xip de silici (Neuron Chip). Qualsevol dispositiu LonWorks (node) està basat en aquest microcontrolador.

La plataforma LonWorks forma part de varis estàndards industrials i constitueixen un estàndard de facto en molts segments del mercat del control, amb una tecnologia oberta a més de 1000 fabricants en tot el món.

Avantatges del protocol LonWorks:

- Interoperabilitat: és la capacitat que té la plataforma per integrar productes de diferents fabricants en sistemes flexibles i funcionals sense necessitat de desenvolupament hardware, software o eines fetes a mida. Aquesta capacitat permet:
 - o Els productes que tenen interoperabilitat permeten als dissenyadors de cada projecte utilitzant el millor dispositiu per cada sistema o subsistema sense veure's forçats a utilitzar una línia entera de productes d'un mateix fabricant.
 - o Els productes que tenen interoperabilitat incrementen la oferta del mercat, aquest fet contribueix a una major qualitat i llibertat d'elecció per l'usuari final.
 - o La interoperabilitat redueix el cost dels projectes.
 - o Els sistemes que tenen interoperabilitat permeten als responsables de manteniment dels edificis i plantes industrials, la monitorització de les instal·lacions utilitzant eines estàndards, sense importar que empresa ha fabricat cada sub sistema.
- Compleix l'estàndard internacional (ISO/IEC 14908).
- Disposa de múltiples mitjans de transmissió (TP, PL e IP): LonWorks pot funcionar sobre RS485 a través de cables telefònics trenats per el cable amb topologia lliure (TP), sobre corrents portadores (PL) molt extens en robòtica i comptadors energètics i fent ús del protocol d'Internet (IP).
- La plataforma esta en constant evolució.

Desavantatges del protocol LonWorks:

- Crèdits: el sistema Lon funciona amb crèdits que tenen un cost en cada instal·lació.
- El protocol és molt robust però no és senzill d'utilitzar.

3.1.8. Z-Wave.

Z-Wave és un protocol de comunicació sense fils que permet que es comuniquin dispositius intel·ligents compatibles entre ells. Z-Wave és una xarxa de malla, que utilitza ones de radio de baixa energia en una freqüència de 800-900 MHz. Està dissenyat per assegurar una transmissió fiable i de baixa latència de petits paquets de dades. Una altra característica d'aquest protocol és la interoperabilitat que vol dir que tots els certificats Z-Wave són sempre compatibles entre si.

La xarxa de malla (mesh) és una xarxa en la que tots els nodes estan connectats de forma directa i no jeràrquicament a tants altres nodes com sigui possible. Aquests nodes cooperen entre si per transmetre dades eficientment. En una xarxa Z-Wave, cada dispositiu representa un node i cada dispositiu esta connectat a tots els altres dispositius al seu abast, aquesta configuració permet que no sigui necessari la connexió a través d'una passarel·la i tenen un abast d'uns 30 metres, però l'abast de tota la xarxa Z-Wave és molt més amplia. En la següent figura, Figura 15, es pot observar l'arquitectura del protocol Z-Wave.

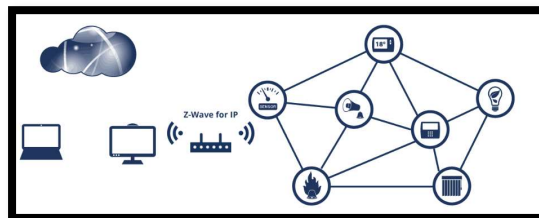


Figura 15. Protocol Z-Wave. [Consulta: 09 de novembre del 2022] Disponible: <https://smartify.in/knowledgebase/z-wave-technology/>

Avantatges del protocol Z-Wave:

- Molts productes estan incorporant aquest protocol degut a que és un solució de baix cost.
- Senzill d'implementar amb dependència del lloc de la instal·lació.

Desavantatges del protocol Z-Wave:

- Requereix una centralita de control.
- La distancia d'ús real en un habitatge no és molt gran.

- Al ser una tecnologia de radio freqüència pot ser interferit amb facilitat.
- Pot crear un petit retard entre dispositius si tots reben la mateixa ordre.

3.1.9. ZigBee

ZigBee és un protocol de comunicació sense fil d'alt nivell per instal·lacions domòtiques. ZigBee es basa en l'estàndard 802.15.4 per les capes baixes de comunicació i té les següents característiques:

- Baix consum i baixa taxa de transferència de dades.
- Tipologies de xarxes tipus mallada.
- Grandària reduïda dels dispositius.

ZigBee gestiona de forma automàtica la xarxa, creant i manteniment les rutes de forma dinàmica, de tal manera que permet que la xarxa corregeixi automàticament situacions de desconexió parcial d'alguns dels nodes que la formen, evitant així tenir que accedir físicament als equips per poder solucionar aquests tipus de problemes. En la següent figura, Figura 16, es pot veure com funciona el protocol ZigBee.

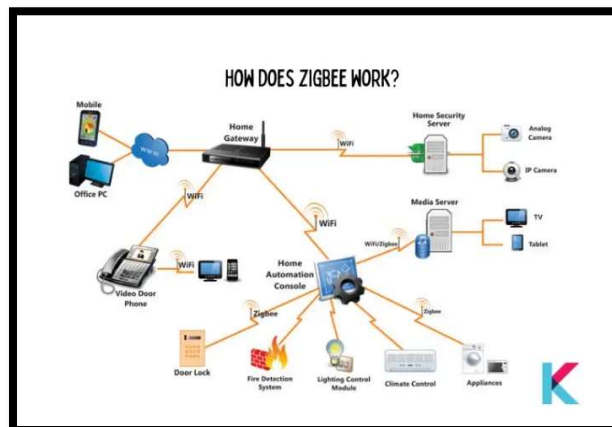


Figura 16. Funcionament del protocol ZigBee. [Consulta: 09 de novembre del 2022]
 Disponible: <https://blog.devgenius.io/zigbee-hub-7ab382633767>

La seva mida reduïda i el seu baix cost permet integrar mòduls ZigBee en dispositius i equips de l'habitatge per poder realitzar una instal·lació domòtica.

ZigBee té una estructura que permet treballar amb una topologia de xarxa tipus mesh (o malla). Aquesta topologia permet als nodes actualitzar de forma dinàmica la taula de rutes, el que aporta robustesa i eficàcia a la xarxa. Un node dins d'una xarxa ZigBee pot tenir els següents rols:

- **Coordinador.** El coordinador de la xarxa és un node únic i és l'encarregat de crear la xarxa, encaminar els paquets i permeten les connexions entrants dels altres nodes de la xarxa. Aquest node acostuma a estar sempre connectat i integrat amb un mòdul de comunicació amb connexió a Internet, el que permet enviar les dades recollides per la xarxa ZigBee a un servidor central.
- **Encaminador.** De manera semblant al coordinador on els nodes actuen com encaminadors, té la capacitat d'encaminador paquets, però no pot acceptar connexions.
- **Dispositius finals.** Aquests nodes representen els dispositius més senzills de la xarxa. Son capaços d'enviar o rebre paquets de la xarxa, però no tenen capacitat d'encaminar. A més, poden entrar en mode de baix consum, o sleep, per allargar la vida de la bateria, tornant-se a connectar només quan és necessari.

Hi ha diferents tipus de software de control per xarxes ZigBee, a continuació es mostren els més importants:

- ZigBee2MQTT. És un complement a Home Assistant, aquest software és el que suporta més dispositius i utilitza el protocol MQTT.
- ZHA. És la integració predeterminada per Home Assistant, aquest software és el més senzill d'instal·lar i d'usar.
- DeCONZ. És un complement a Home Assistant, aquest software juntament amb ZigBee2MQTT és el més avançat i amb més possibilitats de configuració. Té menys adaptadors compatibles.

Avantatges del protocol Zigbee:

- Consumeix molt poca energia.
- La instal·lació és senzilla i econòmica.
- La solució no ocupa casi espai físic.
- Allibera la xarxa WiFi de l'habitatge.
- No hi ha límits de dispositius connectats i la capacitat de salt és de fins a 15 dispositius.

Desavantatges del protocol Zigbee:

- Requereix una centraleta de control.
- Degut a no crear dispositius que permetin interoperabilitat entre ells, el que pot causar que algun producte ZigBee no sigui compatible amb la resta de dispositius de la xarxa.

3.1.10. Elecció del protocols utilitzats.

En aquest apartat es realitza l'elecció dels protocols per la nostra instal·lació domòtica. Per realitzar la tria dels protocols, es fa en funció que s'adaptin per complir amb els objectius secundaris que s'han fixat per el nostre projecte.

Per tant, cal recordar que els protocols que s'utilitzen per la instal·lació han de complir amb les següents característiques:

- Han de ser protocols estàndards i oberts.
- La comunicació entre els diversos dispositius del sistema ha de ser sense fils.
- El sistema ha d'integrar dispositius de diferents fabricants.
- La solució ha de ser de baix cost.

En la següent taula, Taula 8, es resumeixen les característiques de cada protocol en funció dels objectius secundaris que s'han fixat per aquest treball.

Taula 8. Característiques protocols de comunicació

| Protocol | Protocol estàndard i obert | Protocol sense fils | Integrar dispositius de diferents fabricants |
|----------|--|--|--|
| X10 | SI | NO | SI |
| INSTEON | SI | Utilitza senyals de RF (sense fils) i a través del cablejat elèctric | NO |
| MQTT | SI | SI | SI |
| KNX | SI | NO | SI |
| LonWorks | SI | NO | SI |
| Z-Wave | Z-Wave no és completament de codi obert, però varis dispositius d'aquesta tecnologia es van fer públics (ecosistema obert) | SI | SI |
| ZigBee | SI | SI | SI |
| WiFi | SI | SI | SI |
| BLE | SI | SI | SI |

Després de estudiar diferents protocols de comunicació per els dispositius domòtics per la instal·lació, s'ha determinat que la millor opció és utilitzar ZigBee i MQTT.

L'elecció de ZigBee rau en que compleix amb tots els requisits necessaris i a més, té dues característiques que el converteixen amb la millor opció: la primera és el baix consum d'energia dels dispositius finals (els dispositius funcionen amb bateria) i la

segona, és que hi ha multitud de fabricants amb productes certificats amb ZigBee que ofereixen opcions econòmiques que s'ajusten el nostre pressupost reduït.

S'ha descartat WiFi i BLE, tot i complir amb els requisits degut a que no són tant adequades per instal·lacions on hi ha molt dispositius connectats com és el cas d'aquest projecte (ZigBee ofereix millors possibilitats des del punt de vista escalabilitat que BLE i WiFi).

La majoria de fabricants de productes compatibles amb ZigBee tenen dispositius que venen amb la seva pròpia porta d'enllaç que uneix ZigBee i el WiFi del nostre habitatge. Aquest sistema funcionaria bé, en cas que tots els dispositius fossin d'un sol fabricant i que no fos important per l'usuari la cessió de les seves dades als fabricants dels dispositius. Com que un dels objectius secundaris del nostre projecte estableix que s'ha de poder treballar amb diferents fabricants de dispositius i que les dades no es poden compartir, s'ha escollit la solució d'utilitzar el software Zigbee2MQTT que agafa els missatges de la xarxa ZigBee i els tradueix en missatges fàcils d'usar i ben estructurats en el protocol MQTT.

Per tant, la solució proposada convertirà els missatges ZigBee en MQTT actuant com una passarel·la mitjançant el software Zigbee2MQTT. Amb el Broker MQTT Mosquitto, Home Assistant pot gestionar aquests missatges MQTT per les diferents aplicacions.

En la següent figura, Figura 17, es mostra un esquema, de com s'apliquen els protocols de comunicació per la solució proposada.

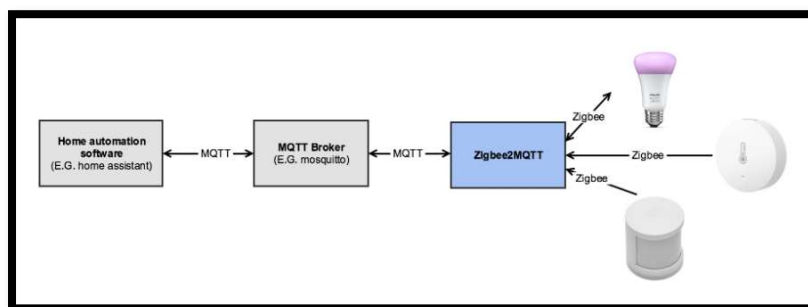


Figura 17. Esquema de comunicacions similar a la solució proposada. [Consulta: 09 de novembre del 2022]

Disponible: <https://minibots.wordpress.com/2019/04/17/gateway-zigbee-compatible-con-mqtt-basado-en-cc2531/>

4. Arquitectura del sistema.

4.1. Tipus d'arquitectura

Hi ha diferents tipus d'arquitectura que es poden adaptar per sistemes domòtics. A continuació es mostren les d'arquitectures de sistemes domòtics centralitzats, descentralitzats, distribuïts i híbrids.

4.1.1. Sistemes domòtics centralitzats.

Els sistemes domòtics centralitzats, es gestionen de forma remota a través d'un panell de control central. El control central s'encarrega d'enviar, rebre i processar la informació dels sensors, d'aquesta manera es generen les ordres oportunes per els actuadors i interfases.

Els sistemes domòtics centralitzats tenen un controlador central i la resta de dispositius estan connectats al controlador. Els dispositius tenen una sèrie de sensors que recullen dades i es comuniquen entre ells gracies al controlador central.

Avantatges dels sistemes domòtics centralitzats:

- Els sensors i actuadors són de tipus universal.
- El manteniment, actualitzacions o modificacions són senzilles gracies a l'arquitectura centralitzada.
- S'adapta fàcilment a instal·lacions domèstiques.

Desavantatges dels sistemes domòtics centralitzats:

- Requereix de molt de cablejat si no s'utilitza una tecnologia sense fils.
- És un sistema complex escalar.
- Requereix d'una interfície d'usuari.
- En cas d'averia en el controlador central, tot el sistema al complet cau.

4.1.2. Sistemes domòtics descentralitzats.

En els sistemes descentralitzats cadascun dels dispositius té un petit processador propi. Cada dispositiu s'encarrega d'enviar i rebre la informació, sense importar la resposta dels altres sensors o dispositius. La informació s'envia a cada un dels dispositius i es realitza mitjançant el bus de dades. El bus de dades és només el canal de

comunicacions al qual es connecten les dispositius per comunicar-se. Els sistemes domòtics descentralitzats s'utilitzen sobre tot en sistemes sense fils.

Avantatges dels sistemes domòtics descentralitzats:

- Requereix menys cablejat que el sistemes domòtics centralitzats.
- És fàcil de mantenir, actualitzar i ampliar.
- Millor rendiment degut al seu sistema independent.

Desavantatges dels sistemes domòtics descentralitzats:

- Els sensors o actuadors no són de tipus universal.
- Les instal·lacions són complexes i requereixen de professionals especialitzats.
- Requereix una interfície d'usuari.

4.1.3. Sistemes domòtics distribuïts.

En els sistemes domòtics distribuïts, els diferents controladors es troben distribuïts per tots els sensors o actuadors. Cadascun dels controladors té la capacitat d'actuar i enviar informació al sistema segons les dades que rep d'altres dispositius. Cada un dels dispositius dins del sistema compta amb intel·ligència pròpia i es pot controlar mitjançant diferents activitats.

Avantatges dels sistemes domòtics distribuïts:

- Els sistemes domòtics distribuïts destaquen per la seguretat de funcionament i eficiència.
- Els sistemes domòtics distribuïts permeten personalitzar la xarxa.
- El cost dels sistemes domòtics distribuïts és menor al d'un sistema centralitzat.

Desavantatges dels sistemes domòtics distribuïts:

- Els sistemes domòtics distribuïts requereixen d'un tècnic especialitzat per la seva instal·lació.
- Els sistemes domòtics distribuïts requereixen de molta programació.

4.1.4. Sistemes domòtics híbrids o mixes

Els sistemes domòtics híbrids o mixes són la combinació dels sistemes anteriorment mencionats (centralitzats, descentralitzats i distribuïts). Es tracta de sistemes que poden tenir un controlador central o diferents controladors descentralitzats i la seva forma d'operar també pot ser similar als controladors d'un sistema domòtic distribuït. En

aquests sistema els diferents dispositius recullen, gestionen i transmeten la informació rebuda als altres dispositius que componen el sistema domòtic i que es troben distribuïts per l'habitatge sense que la informació hagi de passar obligatòriament per un controlador principal. La instal·lació domòtica mixta és una bona opció per sistemes extens on hi ha una gran quantitat de dades.

4.1.5. Elecció

Elecció del tipus d'arquitectura del sistema està condicionada pel software escollit en aquest projecte, però sobretot pel protocol de comunicacions dels dispositius que és el ZigBee.

Els components d'una xarxa sense fils de l'àrea personal (WPAN – Wireless Personal Area Network) amb ZigBee consta de varis components (coordinador, encaminador i dispositius finals). Tenint en compte els dispositius de la xarxa hi ha quatre tipus de xarxes basades en ZigBee: parella, estrella, malla i arbre de grups. A continuació es mostren les tipologies de xarxa ZigBee en la següent figura, Figura 18.

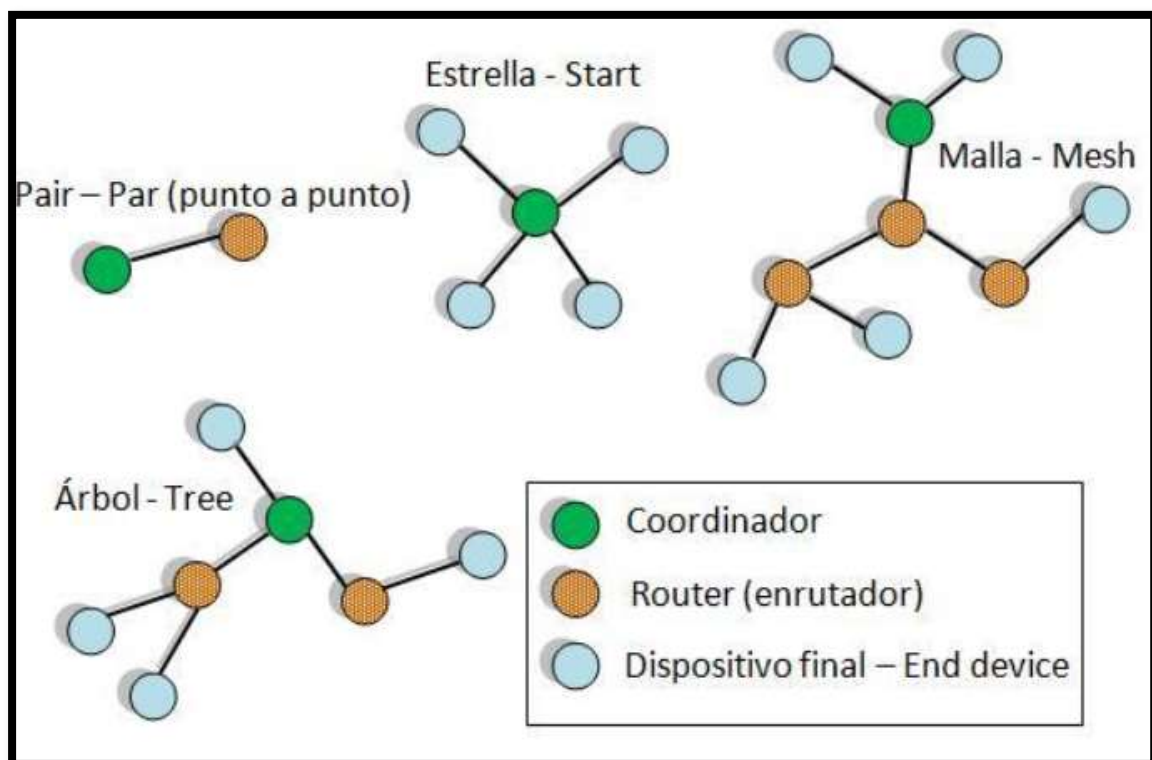


Figura 18. Tipologies de xarxes ZigBee. [Consulta: 30 de novembre del 2022]
Disponible: https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Topologias-logicas-redes-ZigBee-Fuente-Plataformas-Zigbee-12_fig1_269708127

A continuació es resumeix les característiques de cadascuna de les tipologies de xarxa:

- **Xarxa en estrella:** aquesta tipologia, estableix la comunicació entre els dispositius i un controlador central únic, anomenat el coordinador. El coordinador pot ser connectat a la instal·lació elèctrica, mentre que la resta de dispositius normalment seran alimentat per bateries. Entre les aplicacions que es beneficien d'aquesta tipologia s'inclou la domòtica, els ordinadors personals, els perifèrics i els jocs. Un cop s'activa per primera vegada el coordinador, aquest pot establir la seva pròpia xarxa i convertir-se en el coordinador de xarxa d'àrea personal (PAN). Cada xarxa d'inici escull un identificador de PAN, que roman lliure fins el moment dins de l'esfera de radi d'influència. Aquest fet permet que cada xarxa en estrella pugui operar de forma independent.
- **Xarxa entre parells:** en aquesta tipologia punt a punt, també hi ha un coordinador de PAN. A diferència de la tipologia en estrella, qualsevol dispositiu pot comunicar-se amb qualsevol altre dispositiu, mentre estiguin l'un a al rang de l'altre. Una xarxa peer-to-peer pot organitzar-se i recuperar-se per ella mateixa. Les aplicacions en el control industrial, la vigilància, les xarxa de sensors sense fils d'actius i el seguiment d'inventari són adequades per aquesta tipologia de xarxa. També permet múltiples salts per encaminar missatges des de qualsevol dispositiu a qualsevol altre dispositiu en la xarxa, proporcionant fiabilitat per encaminaments múltiples.
- **Xarxa d'arbres de grup:** aquesta denominació correspon a un híbrid que es forma aplicant una estructura d'arbre a varies estrelles. Cada estrella és un grup (clúster), i el conjunt serà un arbre de grup (clúster tree). La xarxa d'arbre de grup és un cas especial de xarxa peer-to-peer en la que la majoria dels dispositius són encaminadors i hi ha un sol coordinador de la PAN. El coordinador de la PAN es forma amb el primer grup mitjançant l'establiment de sí mateix com el cap de grup (CLH – Cluster head) amb un identificador de grup (CID – Cluster identifier) de zero, escull un identificador PAN sense usar i transmetre trames de senyalització de dispositius veïns. Un dispositiu candidat que rep una trama de balisa pot sol·licitar unir-se a la xarxa en el CLH. Si el coordinador PAN permet unir-se al dispositiu, afegirà aquest nou dispositiu com un dispositiu secundari en la seva llista de veïns. El dispositiu més recent unit afegirà la CLH com el seu pare en la llista de veïns i començarà a transmetre balises periòdiques de tal manera que altres dispositius candidats puguin unir-se a la xarxa en aquest dispositiu. Una vegada es compleixen els requisits d'aplicació o de la xarxa, el coordinador PAN pot instruir a un dispositiu per

convertir-se en el CLH d'un grup adjacent a la primera. L'avantatge d'aquesta estructura en clúster és l'augment de l'àrea de cobertura a costa d'una major latència de missatges.

- **Xarxa mallada:** l'estructura de la topologia de malla es similar a la de la topologia d'arbre, amb el coordinador en la part superior d'una estructura en forma d'arbre. El coordinador esta vinculat a un conjunt d'encaminadors i de dispositius finals. Un encaminador estar doncs vinculat a més encaminadors i dispositius finals. Aquest pot continuar a un major número de nivells. No obstant, les regles de comunicació són més flexibles que en els nodes d'encaminador i dins de l'abast de l'altre pot comunicar-se directament. La topologia de malla dona lloc a la propagació de missatge més eficients, i significa que posseeix rutes alternatives en cas que falli un enllaç o hi hagi congestió. A més, la funció de "descobrir la ruta" permet trobar la millor ruta disponible per un missatge.

En resum, el fet d'emprar un protocol ZigBee implica que el més adient sigui utilitzar un sistema domòtic centralitzat (on el coordinador de la xarxa ZigBee és element central de la xarxa), i que la xarxa sigui del tipus malla. La xarxa ZigBee serà de la tipologia mallada ja que ofereix una propagació dels missatges més eficients i que disposa de rutes alternatives si un enllaç falla o hi ha congestió. En la Figura 19, es mostra un exemple de com podria ser l'arquitectura de la solució proposada.



Figura 19. Arquitectura de la solució proposada.

5. Hardware

En aquest apartat es realitza l'elecció del hardware per la solució domòtica proposada en aquest projecte.

5.1. Encaminador de la companyia de telecomunicacions.

Per aquest estudi s'ha utilitzat l'encaminador per l'accés per banda ampla que la companyia telecomunicacions Xartic (Sant Joan les Fonts, Girona) utilitza en la instal·lació de la fibra òptica dels habitatges dels seus clients, el model Huawei EchoLife EG8145V5.

S'ha optat per aquest dispositiu ja que implica que els usuari no han de comprar-ne un de nou i no suposaria una despesa. A més, també és un aparell adequat per aquest tipus de instal·lacions donat que és un terminal de xarxa òptica (ONT) de routing intel·ligent integrat en la solució FTTH de Huawei. Mitjançant l'ús de tecnologia GPON proporciona accés per banda ultra ampla als usuaris domèstics. Aquest model és compatible amb les bandes de doble freqüència 802.11ac i permet funcions de reenviament d'alt rendiment que garanteixen una bona experiència amb serveis de veu, Internet i vídeo d'alta definició.

5.2. Centraleta domòtica

Una centraleta domòtica bàsica permet administrar, automatitzar, programar, realitzar tasques a distància i comunicar-se per radiofreqüència amb els dispositius de la llar. A continuació es detallen les diferents opcions valorades per aquest projecte: Raspberry PI4 model B, ODROID-C4, Asus Tinker Board 2s i Intel NUC.

5.2.1. Raspberry PI 4 model B

La Raspberry PI 4 model B és un mini ordinador d'escriptori. Les especificacions de la Raspberry Pi 4 model B són:

- Sistema en un xip: Broadcom BCM2711.
- CPU: Processador de quatre nuclis a 1,5 GHz amb braç Cortex-A72.
- GPU: VideoCore VI.
- Memòria: 1/2/4GB LPDDR4 RAM.
- Connectivitat: 802.11ac WiFi / Bluetooth 5.0, Gigabit Ethernet.

- Vídeo i so: 2 x ports micro-HDMI que admeten pantalles de 4K@60Hz a través de HDMI 2.0, port de pantalla MIPI DSI, port de càmera MIPI CSI, sortida estèreo de 4 pols i port de vídeo compost.
- Ports: 2 x USB 3.0, 2 x USB 2.0.
- Alimentació: 5V/3A via USB-C, 5V via capçal GPIO.
- Expansió: Capçal GPIO de 40 pins.

En la Figura 20, es detallen els components de la placa de la Raspberry PI 4 model B.

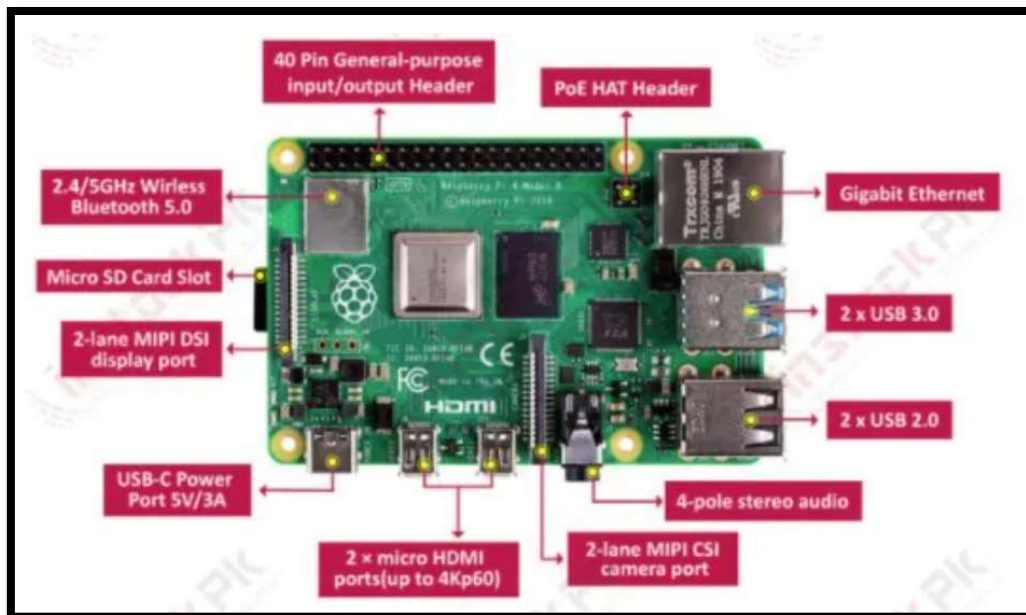


Figura 20. Placa Raspberry PI 4 model B. [Consulta: 30 de novembre del 2022]
 Disponible: <https://es.manuals.plus/Raspberry-Pi/manual-de-raspberry-pi-4-modelo-b#axzz7IIMzS79e>

5.2.2. ODROID-C4

El dispositiu ODROID-C4 és un ordinador de placa reduïda. Les especificacions de l'ODROID-C4 són:

- CPU: Amlogic S905X3 quad-core Cortex-A55 a 2.0GHz.
- GPU: Mali-G31MP2 a 650MHz amb suport OpenGL ES 3.2, Vulkan 1.0 i OpenCL 2.0.
- RAM: 4GB DDR4.
- Emmagatzematge:
 - o 1x eMMC de 8/16/32/64GB es compren apart.
 - o 1x microSD amb suport UHS-I.

- HDMI: tipus estàndard 2.0 suport de 4K@60Hz con HDR, CEC i EDID.
- Àudio: només per el HDMI sense jack.
- Còdecs:
 - o Sortida UHD 4K H.265 75fps 10-bit i conversió a 1080p H.265/H.264 a 60fps.
 - o Suport de sortida multi-vídeo fins a 4Kx2K@60fps i 1x1080P@60fps.
 - o Suport HDR.
- LAN: 10/100/1000 Gigabit Ethernet amb chipset Realtek RTL8211F.
- USB:
 - o 4x USB 3.0.
 - o 1x USB 2.0 OTG per usar-lo com dispositiu extern.
- GPIO:
 - o 40-pin I/O con fins 25x GPIO, 6x PWM, 2x ADC (12-bit, 1.8V màx), 2x I2C, 1x SPI, 1x UART, i sortida d'alimentació a 5V, 3.3V, 1.8V, GND.
 - o 7-pin àudio expansió header per afegir una placa externa con I2C i S/PDIF.
- Port sèrie UART amb connector de hardkernel.
- Alimentació des de 5.5V fins 17V amb un connector tipus barrell jack de 5.5/2.1mm.
- Consum: des de 1.8W a 3.64W.
- Grandària: 85 x 56mm.
- Sistemes Operatius:
 - o Ubuntu 20.04 LTS.
 - o Android Pie 64bits.

En la Figura 21 es pot veure el disseny d'un dispositiu ODROID-C4.

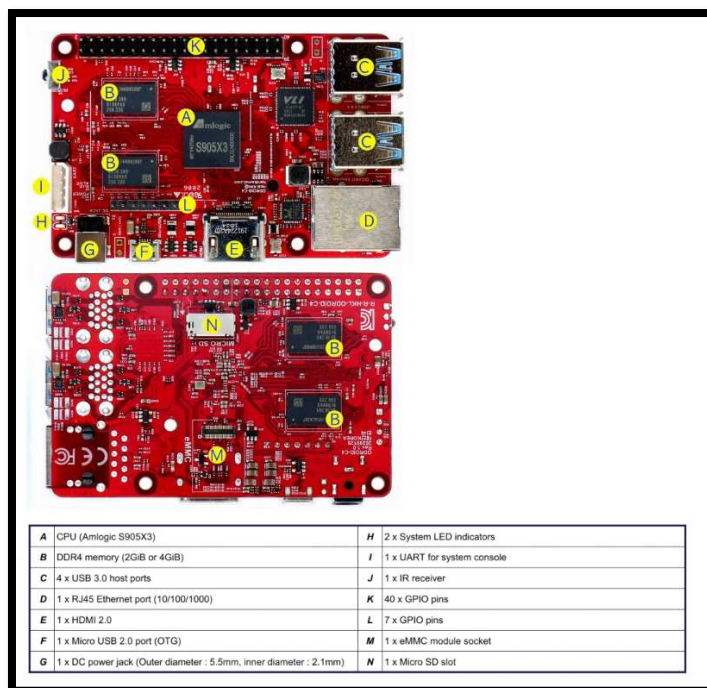


Figura 21. Disseny de la placa ODROID-C4. [Consulta: 30 de novembre del 2022]

Disponible: <https://wiki.odroid.com/odroid-c4/hardware/hardware>

5.2.3. Asus Tinker Board 2s

El dispositiu Asus Tinker Board 2s és un mini PC en una petita placa. Les característiques del dispositiu són:

- Dimensions: 85 x 56 mm.
- SOC: Rockchip RK3399.
- CPU: Dual-core Arm Cortex-A72 a 2 GHz i Quad-core Arm Cortex-A53 a 1,5 GHz.
- Gràfica: Arm Mali-T860 MP4 a 800 MHz.
- RAM: 2/4 GB LPDDR Dual Channel.
- Emmagatzemant: 16 GB eMMC (+ slot Micro SD).
- Ports pantalla: 1 x HDMI (CEC), 1 x USB tipus-C (DP Alt Mode) i 1 x 22-pin MIPI DSI.
- Ports àudio: 1 x HDMI sortida, 1 x S/PDIF TX pin (GPIO) i 1 x PCM/I2S pins (GPIO).
- USB: 3 x USB 3.2 Gen1 tipus-A i 1 x USB 3.2 Gen1 Tipus-C OTG.
- Connectivitat: 1 x RTL8211F-CG GbE LAN, 1 x M.2 - 802.11 a/b/g/n/ac WiFi i Bluetooth 5.0 (2T2R).
- Sistema operatiu: Debian 10 / Android 11.

- Alimentació: 1 x 12~19V DC (5,5/2,5 mm).

En la Figura 22 es mostra la placa del dispositiu Asus Tinker Board 2s.



*Figura 22. Placa Asus Tinker Board 2s. [Consulta: 30 de novembre del 2022]
Disponible: <https://www.xataka.com/ordenadores/asus-tinker-board-2s-caracteristicas-precio-ficha-tecnica>*

5.2.4. Intel NUC NUC7CJYHN UCFE Negro J4005 2 GHz

Intel NUC és un ordinador dins d'una caixa de petites dimensions. Els dispositius Next Unit of Computing (NUC), té un format reduït on van inserits els components i es poden utilitzar per diverses aplicacions. En aquests PC s'incorpora tot menys la RAM i l'emmagatzematge. Presenta diferents models, en aquest cas s'ha valorat un dispositiu NUC, el model Intel NUC NUC7CJYHN UCFE Negro J4005 2 GHz donat és un dels models més bàsics i econòmics. Les característiques d'aquest dispositiu són:

- Dimensions del producte: 11.1 x 11.5 x 5.1 cm; 1 kg.
- Piles: 1 Liti Ion (Tipus de pila necessària).
- Número del model del producte: BOXNUC7CJYHN2.
- Resolució màxima: 800 x 480.
- Fabricant del processador: Intel.
- Tipus de processador: Core 2 Duo Mobile.
- Velocitat del processador: 2 GHz.
- Presa del processador: LGA 1151.
- Número de processadors: 4.
- Tecnologia de la memòria: DDR4.
- Memòria màxima compatible: 8 GB.
- Capacitat del disc duu: 8 GB.
- Descripció del disc duu: SSD.
- Interfase del disc duu: Ethernet.

- Tipus de memòria gràfica: DDR4 SDRAM.
- Interfase de la targeta gràfica: Integrat.
- Tipus de connectivitat: WiFi.
- Número de ports USB 2.0: 1.
- Número de ports USB 3.0: 4.
- Número de ports HDMI: 3.
- Resolució de la càmera web del darrera: 5 MP.
- Sistema operatiu: Windows 10.

5.2.5. Elecció de la centralita domòtica

En la centralita domòtica escollida haurà de ser possible instal·lar el software Home Assistant. En la següent taula, Taula 9, es mostren les característiques de cada dispositiu.

Taula 9. Comparació de centralites domòtiques

| Característiques | Raspberry PI 4 model B | ODROID-C4 | Asus Tinker Board 2s | Intel NUC NUC7CJYHN UCF Negro J4005 2 GHz |
|------------------|--|---|--|--|
| Processador | Broadcom BCM2711 | Amlogic S905X3 | Rockchip RK3399 (64 bits) | Intel |
| CPU | Processador de quatre nuclis a 1,5 GHz amb braç Cortex-A72 | Processador quad-core Cortex-A55 a 2.0GHz | Dual-core ARM Cortex-A72 @ 2.0GHz + Quad-core ARM Cortex-A53 @ 1.5GHz | Core 2 Duo Mobile 2 GHz |
| GPU | VideoCore VI | Mali-G31MP2 | Arm Mali-T860 MP4 a 800 MHz | Intel® UHD Graphics 600 |
| Memòria | 1/2/4GB LPDDR4 RAM | 4GB DDR4 | 2/4 GB LPDDR Dual Channel | Memòria màxima compatible 8 GB DDR4 |
| Emmagatzematge | micro SD card slot, non EMMC | micro SD card slot, EMMC connector for option | 16 GB eMMC (+ slot Micro SD) | 8 GB SSD |
| Connectivitat | 802.11ac Wi-Fi / Bluetooth 5.0, Gigabit Ethernet | 10/100/1000 Gigabit Ethernet amb chipset Realtek RTL8211F | 1 x RTL8211F-CG GbE LAN, 1 x M.2 - 802.11 a/b/g/n/ac WiFi i Bluetooth 5.0 (2T2R) | Wi-Fi 5 (802.11ac), Intel Dual Band Wireless-AC 9462 i Bluetooth 5.0 |

| | | | | |
|----------------------------------|--|--|---|--|
| Vídeo | 2 x micro-HDMI 2.0 | 1 x HDMI 2.0 | 1 x HDMI (CEC), 1 x USB tipus-C (DP Alt Mode) i 1 x 22-pin MIPI DSI | 3 x HDMI |
| So | 3,5 mm analogue audio-video jack | Optional SPDIF optical output | 1 x HDMI sortida, 1 x S/PDIF TX pin (GPIO) i 1 x PCM/I2S pins (GPIO) | NA |
| Ports | 2 x USB 3.0, 2 x USB 2.0 | 4x USB 3.0, 1x USB 2.0 OTG | 3 x USB 3.2 Gen1 tipus-A i 1 x USB 3.2 Gen1 Tipus-C OTG | 4 x USB 3,0 i 1 x USB 2.0 |
| Dimensions | 88 mm x 58 mm | 85 mm x 56 mm | 85 mm x 56 mm | 111 mm x 115 mm x 51 mm |
| Pes | 46 g | 59 g | NA | 1 kg |
| Sistema Operatiu | Linux / Android | Linux / Android | Linux / Android | Windows 10 |
| Cost hardware (recerca 17/12/22) | 95,40 € (inclou Raspberr y PI4 4GB, caixa, targeta micro SD 32 GB, cable HDMI i 4 dissipadors tèrmics) | 80,35 € (falta afegir caixa (9,68 €), font alimentació 12 V 2A (14,52€) i targeta (9,62€)) | 214,05 € inclou (12V/2A de alimentació DC + MIPI Càmera + Targeta de 32GB TF) | 116,99 € (falta afegir el preu memòria RAM de 4GB (35 euros) + disc dur SSD 240 GB (22 €)) |
| Preu Total | 95,40 € | 114,17 € | 214,05 € | 173,99 € |

Després d'analitzar les quatre opcions estudiades es pot comprovar que tots quatre dispositius són capaços de gestionar les tasques que requereix el software d'Home Assistant de forma solvent. Per tant, el preu és el criteri que s'ha utilitzat per escollir el dispositiu. Tant Raspberry Pi 4 Model B com ODROID-C4, tenen preus molt competius, però s'ha escollit la Raspberry Pi 4 model B ja que té un preu més baix i té una comunitat d'usuaris molt gran al darrera.

5.3. Coordinador de la xarxa ZigBee

Les xarxes ZigBee necessiten un administrador, el coordinador, que ha de complir amb la funció de crea la xarxa, encamina paquets i acceptar noves connexions. En les xarxes domòtiques de tipus ZigBee només hi ha un coordinador. Aquest element és un punt

central de la xarxa que estarà connectat a la Raspberry PI 4, permeten així que es pugui comunicar amb altres parts de la xarxa domestica o internet.

Com a coordinadors de la xarxa ZigBee s'han valorat: ConBee II i CC3531USB-RB,

5.3.1. ConBee II ZigBee Port USB Universal

ConBee II és una passarel·la universal ZigBee, que combina molts productes ZigBee i dispositius ZigBee Light Link (ZLL) de fabricants reconeguts. Es tracta d'una solució automàtica que no requereix cap núvol, registre ni connexió a Internet.

El ConBee II transforma el dispositiu Raspberry PI amb un controlador universal ZigBee. A més usant la funció de còpia de seguretat de l'aplicació Phoscon, és possible transferir una instal·lació de ZigBee a un nou sistema. D'aquesta forma es pot migrar una configuració existent en la Raspberry PI a un dispositiu més potent, per tant pot facilitar una futura escalabilitat del sistema. En la Figura 23 es mostra un dispositiu ConBee II.

Aquest tipus de dispositiu:

- Pot fer de controlador d'una xarxa ZigBee.
- Funciona sense necessitat de núvol ni registre. Permet controlar els dispositius de forma local sense internet, i totes les dades dels sensors es guarden en la xarxa local.
- Funciona amb fabricants com Philips Hue, IKEA Trådfri, OSRAM Lightify, XIAOMI Aqara i molts altres fabricants de productes de ZigBee.
- Compatible amb ZigBee Home Automation, ZigBee Light Link i ZigBee 3.0.
- Es compatible amb els sistemes operatius: Windows 7/10, Ubuntu Linux, Raspbian i Docker.
- Es pot utilitzar en un PC, portàtil, Raspberry Pi o Mini-PC.

Les característiques del dispositiu són:

- Microcontrolador: ATSAMR21B18 ARM® Cortex®-M0 +.
- Tensió nominal: DC 5.0 V.
- Potència de transmissió màx.: 10 mW.
- Abast de la senyal: línia de visió de 200 m.
- Radio freqüència: 2.4 GHz.
- Estàndard de radio: IEEE 820.15.4 / Zigbee.
- Memòria flash: 256 KB.
- Temperatura de funcionament: -20 ° C a 55 ° C.

- Dimensiones: 60 mm × 18 mm × 9 mm.



Figura 23. ConBee II Zigbee Puerto USB Universal. [Consulta: 26 de novembre del 2022]. Disponible:https://zwave.es/index.php?_route_=CONBEEI

5.3.2. CC2531USB-RD amb antena externa

Es tracta una versió del dispositiu CC3531USB-RB de Texas Instruments, que permet la connexió d'una antena externa a través d'un connector SMA. L'avantatge d'aquesta versió és que pot proporcionar una major cobertura segons l'antena a que es connecti. La resta de característiques són les mateixes que el model clàssic.

Per poder utilitzar aquest dispositiu s'ha de carregar un arxiu de firmware en el dispositius a través de l'aplicació cc-tool.

5.3.3. Elecció del coordinador de la xarxa ZigBee

S'ha escollit com a coordinador de la xarxa ZigBee opció de Conbee II, ja que és l'opció més compatible amb més dispositius ZigBee i facilitaria una futura migració a un altre dispositiu si és necessari. A més, és molt fàcil de configurar. No obstant, aquesta no és la opció més econòmica (el preu d'aquest dispositiu és de 30,46 €) i cal tenir en compte que no es pot adaptar a diferents antenes.

5.4. Encaminador i dispositius finals de la xarxa Zigbee.

L'encaminador de la xarxa ZigBee és semblant al coordinador, però no admet connexions, per tant no es pot associar a nous dispositius. Aquests dispositius no s'han alimentar amb piles, ja que directament es connecten a la xarxa elèctrica o mitjançant un adaptador de corrent. Aquest tipus de dispositius es poden comunicar amb tots els dispositius dins del seu rang d'abast i són capaços de repetir les comunicacions.

Els dispositius finals funcionen mitjançant bateria (normalment tipus botó), no encaminen comunicacions i no es comuniquen amb altres dispositius finals, només es comuniquen amb el coordinador o amb dispositius encaminadors. Aquests dispositius

estan preparats per funcionar en mode baix consum, connectant-se únicament quan és necessari.

Hi ha molts fabricants que ofereixen dispositius finals o encaminadors de xarxa. Com per la resta de components s'han analitzat diverses opcions buscant la millor relació qualitat-preu.

5.4.1. Sensor de temperatura i humitat SONOFF SNZB-02(dispositiu final de la xarxa ZigBee)

El sensor de temperatura i humitat SONOFF SNZB-02, monitoritza els canvis de temperatura i d'humitat en l'interior d'una casa. Es tracta d'un dispositiu final de la xarxa ZigBee.

Les funcions i característiques d'aquest sensor són:

- Controlar la temperatura i la humitat interior d'una habitació.
- Sincronitzar les lectures de temperatura i humitat en temps real.
- Notificació de bateria baixa.

Les especificacions tècniques són:

- Bateria 3V (CR2450).
- Protocol sense fils ZigBee (IEEE 802.15.4).
- Hardware: PC.
- Dimensions: 43 mm x 43 mm x 14 mm.
- Certificat per la CE.

El preu del dispositiu és de 9,90 €. En la Figura 24 es pot veure el sensor de temperatura i humitat SONOFF SNZB-02.



Figura 24. Sensor de temperatura i humitat SONOFF SNZB-02. [Consulta: 30 de novembre del 2022] Disponible: <https://www.domoticalia.es/es/sensores-zigbee/1435-sonoff-sensor-de-temperatura-y-humedad-zigbee-30-6920075776102.html>

5.4.2. Sensor detector fums Aqara ZigBee (dispositiu final de la xarxa ZigBee)

Aqara és un detector de fums intel·ligent de ZigBee, és un dispositiu final que s'utilitza com alarma d'incendis mitjançant una alerta de so. Es tracta d'un dispositiu final de la xarxa ZigBee.

Les funcions i característiques d'aquests dispositius són:

- Alarma de fums original Aqara, alarma remota, serveix per avisar d'un incendi en temps real.
- Alarma de so progressiva.
- Recordatori d'auto comprovació de forma regular.
- Fàcil de configurar.

Les especificacions tècniques són:

- Model: JY-GZ-01 AQ.
- Protocol sense fils ZigBee (IEEE 802.15.4).
- Dimensions: 104,6 mm x42 mm.
- Bateria: CR17450.
- Voltatge: 3V.
- Duració de la bateria: 10 anys.
- Volum de l'alarma: 80DB.
- Temperatura de treball: -10°C a 55°C.
- Humitat de treball: 0-95% RH.

El preu del dispositiu és de 42,03 €. En la següent Figura 25 s'observa una imatge del dispositiu.



Figura 25. Sensor detector fums Aqara ZigBee [Consulta: 30 de novembre del 2022] Disponible: <https://www.xiaomiadictos.com/aqara-lanza-un-nuevo-detector-de-humos-compatible-con-xiaomi-home-y-una-autonomia-de-hasta-10-anos/>

5.4.3. Sensor per detectar les fugues d'aigua Aeotec SmartThings Water Leak Sensor (dispositiu final de la xarxa ZigBee)

El dispositiu Aeotec SmartThings Water Leak Sensor detecta fugues d'aigua per entollament o per vessament. Detecta l'aigua tant en la part inferior com en la part superior del dispositiu. Es tracta d'un dispositiu final de la xarxa ZigBee.

Les funcions i característiques d'aquests dispositius són:

- Monitorització de fugues d'aigua i inundacions.
- Monitorització la temperatura.
- Notifica alertes a través del sistema domòtic en cas que es detecti aigua o si la temperatura canvia.

Les especificacions tècniques són:

- Alimentació: bateria CR2.
- Protocol sense fils ZigBee (IEEE 802.15.4).
- Dimensions 59 mm x 20 mm x 42 mm.
- Certificat per la CE.
- Classificació IP 20.

El preu del dispositiu és de 34,99 €. En la següent Figura 26 es mostra aquest dispositiu.



Figura 26. Aeotec SmartThings Water Leak Sensor [Consulta: 30 de novembre del 2022] Disponible:https://zigbee.domoticadavinci.com/index.php?_route_=GP-AEOWLSEU

5.4.4. Sensor SONOFF SNZB-04 detector d'obertura de porta/finestra (dispositiu final de la xarxa ZigBee)

El sensor de portes i finestres SONOFF pot detectar l'obertura i el tancament d'una porta o finestra i enviar una notificació al sistema domòtic. Es tracta d'un dispositiu final de la xarxa ZigBee.

Les funcions i característiques d'aquest dispositius són:

- Conèixer l'estat de la porta/finestra en temps real.
- Controlador la llum.
- Notificació de bateria baixa.
- Instal·lació ràpida i fàcil.

Les especificacions tècniques són:

- Bateria 3V (CR2450).
- Protocol sense fils ZigBee (IEEE 802.15.4).
- Dimensions:
 - o Iman: 32 mm x 15,6 mm x 13 mm.
 - o Sensor: 47 mm x 27 mm x 13,5 mm.
- Certificat per la CE.

El preu del dispositiu és de 8,40 €. En la Figura 27 es pot veure una imatge del dispositiu.



Figura 27. Sensor SONOFF SNZB-04 detector d'obertura de porta/finestra.

[Consulta: 30 de novembre del 2022]

Disponible: <https://www.domoticalia.es/es/sensores-zigbee/1434-sonoff-detector-de-apertura-de-puertaventana-zigbee-30.html>

5.4.5. Sensor de moviment SONOFF SNZB-03 (dispositiu final de la xarxa ZigBee)

SONOFF SNZB-03 és mini sensor de moviment sense fils per ZigBee. La distància de detecció és de 6 m i l'angle de visió és de 110 graus. Es tracta d'un dispositiu final de la xarxa ZigBee.

Les especificacions tècniques són:

- Bateria 3V (CR2450).
- Protocol sense fils ZigBee (IEEE 802.15.4).
- Dimensions: 35 mm x 39 mm x 28 mm.
- Temperatura de treball: -10°C a 40°C.
- Pes: 19 g.

El preu del dispositiu és de 8,61€. En la Figura 28 s'il·lustra l'angle d'abast i el funcionament del dispositiu.

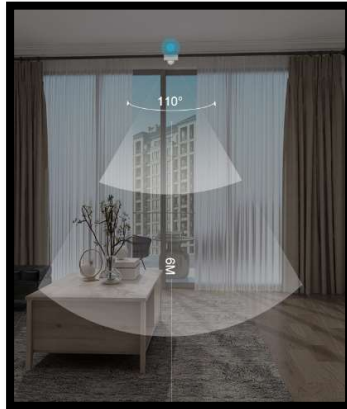


Figura 28. Funcionament del Sensor de moviment SONOFF SNZB-03 [Consulta: 30 de novembre del 2022] Disponible:<https://sonoff.tech/product/gateway-and-sensors/snzb-03/>

5.4.6. Rele Tuya Smart ZigBee (encaminador de la xarxa ZigBee)

Aquest mòdul ZigBee està dissenyat per convertir un interruptor o endoll tradicional en un dispositiu intel·ligent. A més d'aquesta funció aquest dispositiu s'utilitza com a encaminador de la xarxa ZigBee.

Les especificacions tècniques són:

- Voltatge d'entrada 220-240 V. 50 Hz.
- Potència màxima 2300 W, 250 W per LED.
- Protocol sense fils ZigBee (IEEE 802.15.4).
- Vida útil de 100000 cicles d'encesa/apagada.
- Dimensions: 46 mm x 46 mm x 18 mm.
- Temperatura de treball: -10°C a 40°C.

El preu del dispositiu és de 14,90 €. En la Figura 29 es mostra una imatge d'aquests dispositius.



Figura 29. Rele Tuya Smart ZigBee. [Consulta: 30 de novembre del 2022]

Disponible: <https://solectroshop.com/es/tuya-smart-controladores-zigbee/5470-tuya-smart-rele-de-empotrar-1-canal-zigbee-30.html>

5.4.7. Termòstat MOES (encaminador de la xarxa ZigBee)

Aquest termòstat amb protocol ZigBee per calderes proporciona un control de la temperatura de forma intel·ligent. A més d'aquesta funció aquest dispositiu s'utilitza com a encaminador de la xarxa ZigBee.

Les especificacions tècniques són:

- Voltatge d'entrada 220-240 V. 50 Hz.
- Protocol sense fils ZigBee (IEEE 802.15.4).

El preu del dispositiu és de 55,95 €. En la Figura 30 es pot veure una imatge del dispositiu.



Figura 30. Termòstat MOES. [Consulta: 30 de novembre del 2022] Disponible:

https://www.amazon.es/Termostato-Calefacci%C3%B3n-Inteligente-Programmabile-Compatible/dp/B0BG8BRRGR/ref=sr_1_9?keywords=termostato%2Bzigbee&qid=1671469479&sr=8-9&th=1

5.4.8. Actuador per obertura d'aigua per regar el jardí Smart Garden Irrigation Control ZigBee 3.0 TUYA (dispositiu final de la xarxa ZigBee)

El dispositiu Smart Garden Irrigation Control ZigBee 3.0 TUYA, és un actuator per obrir el rec del jardí. Es tracta d'un dispositiu final de la xarxa ZigBee.

Les especificacions tècniques són:

- Alimentació: 4 piles AA.
- Tensió de funcionament: DC 6V.
- Duració de la bateria: fins a 6 mesos.
- Corrent de funcionament: 270 mA.
- Corrent d'espera: 20 uA.
- Rang de pressió de l'aigua: 0,2 -0,7 MPa.
- Protocol sense fils ZigBee (IEEE 802.15.4).
- Temperatura de treball: 0°C a 45°C.
- Humitat durant el funcionament \leq % HR (sense condensació).
- Classe de resistència a l'aigua: IP44.
- Dimensions 190,5 mm x 99,6 mm x 77mm.

El preu del dispositiu és de 43,90€. En la Figura 31 es mostra una imatge d'aquests dispositius.



Figura 31. Dispositiu Smart Garden Irrigation Control ZigBee 3.0 TUYA [Consulta: 30 de novembre del 2022] Disponible:<https://solectroshop.com/es/domotica-smart-home/30101-smart-garden-irrigation-control-zigbee-30-tuya.html#description>

5.4.9. Actuator de radiador intel·ligent Tuya ZigBee (dispositiu final de la xarxa Zigbee)

L'actuator de radiador intel·ligent funciona mitjançant una vàlvula especial que serveix per regular el funcionament del radiador. Es tracta d'un dispositiu final de la xarxa ZigBee.

Les especificacions tècniques són:

- Bateria: 2 AA.
- Temperatura de treball: -10°C a 60°C.
- Corrent màxima: 90mA.
- Precisió de la pantalla: 0,5°C.
- Rang de visualització de temperatura: 1°C a 70°C.
- Dimensions de la rosca: M30 x 1,5.
- Dimensions del termòstat del radiador: 126 mm x 91 mm x 80 mm / 5,0 x 3,6 x polzada.

El preu del dispositiu és de 27,97 €. En la Figura 32 es pot veure el dispositiu.



Figura 32. Actuador de radiador intel·ligent Tuya ZigBee. [Consulta: 30 de novembre del 2022]

Disponible: https://ae01.alicdn.com/kf/H274b183af2c54d248e19670e9637e47b5/V-lvula-inteligente-para-radiador-dispositivo-controlador-de-la-temperatura-aparato-termost-tico-programable-configuraci-n.jpg_50x50.jpg_.webp

5.4.10. Actuador per la motorització de persianes Vivogar (encaminador de la xarxa ZigBee)

El dispositiu Vivogar per persianes, transforma interruptor tradicional de les persianes amb un interruptor intel·ligent. A més d'aquesta funció aquest dispositiu s'utilitza com a encaminador de la xarxa ZigBee.

Les especificacions tècniques són:

- Voltatge: 100-240V AC 50/60Hz.
- Corrent: 3A.
- Freqüència: 2.4GHz-2.484GHz IEEE 802.15.4.
- Temperatura de treball: -10°C a 40°C.
- Rang d'operació: ≤ 200 m.

- Dimensions: 46 mm x 46 mm x 18 mm.
- Classificació IP:20.

El preu del dispositiu és de 24,99 €. En la Figura 33 es pot mostra una imatge d'aquest tipus de dispositius.



Figura 33. Vivogar per persianes. [Consulta: 30 de novembre del 2022] Disponible: <https://vivogar.es/producto/vivogar-modulo-para-persianas-zigbee-3-0/>

5.4.11. INNR bombeta ZigBee 3.0 tipus E27 -RGBW + Multi blanc ajustable – 2200K a 6500K (encaminador de la xarxa Zigbee)

El dispositiu INNR permet tenir una il·luminació intel·ligent i controlable per veu o mitjançant el sistema domòtic. A més d'aquesta funció aquest dispositiu s'utilitza com a encaminador de la xarxa ZigBee.

Les funcions i les característiques d'aquest dispositius són:

- Ajust lliure de la brillantor des del sistema domòtic o amb la veu.
- La intensitat es pot ajustar amb un sistema sense fils.
- Proporciona llum blanca i de color.
- Compatible amb comandes de veu.
- Compatible amb les extensions de ZigBee: ZiGate i Conbee II.

Les especificacions tècniques són:

- Font d'alimentació: 220-240V.
- Potència: 9,5 W.
- Etiqueta d'energia: A++.
- Protocol sense fils ZigBee (IEEE 802.15.4).
- Classe de protecció: IP20.
- Flux: 806 lm.
- Índex de rendiment de color: CRI>80.
- Vida útil nominal: 25000h.

- Intensitat variable.
- TEMPS D'IGNICIÓ: <0,5s.
- Compatible amb totes les càpsules E27.
- Color de la llum: RGBW.
- Temperatura de color: 1800 a 6500 K.
- Angle de la llum: 240°.
- Rang d'atenuació: 5%-100%.
- Dimensions: 120 mm x 60 mm x 60 mm.

El preu del dispositiu és de 29,99 €. En la Figura 34 s'observa un exemple d'aquest dispositiu.



Figura 34. Bombeta INNR. [Consulta: 30 de novembre del 2022] Disponible: <https://www.domoticalia.es/es/iluminacion-led-zigbee-bombillas-y-tiras/1439-innr-bombilla-zigbee-30-tipo-e27-rgbw-multiblanc-ajustable-2200k-a-6500k-8718781552206.html>



5.5. Distribució dels dispositius per l'habitatge en la nostra instal·lació.

La distribució dels diferents elements que conformen la instal·lació domòtica proposada s'ha representat en un plànol que es mostra a continuació, Figura 35. Cadascun dels elements es representa per una icona i es descriu i classifica segons la seva funció en la xarxa ZigBee del sistema:

Encaminador de la companyia telecomunicacions:

- Huawei EchoLife EG8145V5 

Centralita domòtica + controlador de la xarxa ZigBee:

- Raspberry PI 4 model B 
- ConBee II 

Encaminadors de la xarxa ZigBee:

- Relé Tuya Smart 📄
- Termòstat MOES 🌡️
- Vivogar (Actuador per la motorització de les persianes) 🪟
- Bombeta INNR 💡

Dispositius finals de la xarxa ZigBee:

- SONOFF SNZB-02 (sensor de temperatura i humitat) 🌡️
- SONOFF SNZB-03 (sensor de moviment) 🚶
- SONOFF SNZB-04 (sensor detector d'obertura de porta/finestra) 🪟
- Aqara ZigBee (sensor detector fums) 🚒
- Aeotec SmartThings Water Leak Sensor (sensor per detectar les fugues d'aigua) 🚰
- Smart Garden Irrigation Control ZigBee 3.0 TUYA (actuador per l'obertura de l'aigua de rec) 🌿
- Tuya ZigBee (actuador del radiador intel·ligent) 🏠

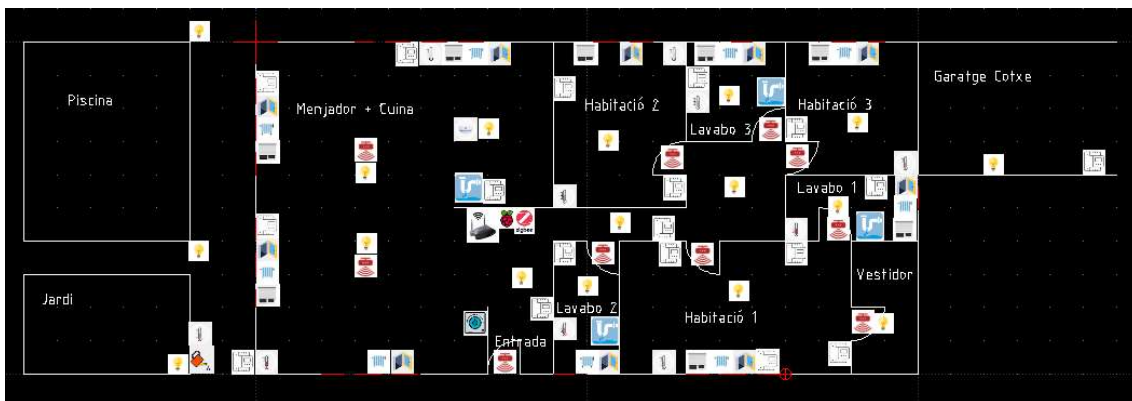


Figura 35. Plànol de la casa on es pot veure la distribució del dispositius.

És important també tenir en compte el nombre d'unitats necessàries de cada component. A continuació es fa un recompte dels elements utilitzats en la instal·lació proposada.

Encaminador de la companyia telecomunicacions:

- Huawei EchoLife EG8145V5 📶 - 1 unitat

Centraleta domòtica + controlador de la xarxa ZigBee:

- Raspberry PI 4 model B 🍷 - 1 unitat
- ConBee II 📶 - 2 unitat (1 unitat en funcionament i una altre de reserva en cas de que hi hagi un problema amb la primera)

Encaminadors de la xarxa ZigBee:

- Relé Tuya Smart 📄 - 18 unitats
- Termòstat MOES 🌡️ - 1 unitat
- Vivogar (Actuador per la motorització de les persianes) 🏠 - 10 unitats
- Bombeta INNR 💡 - 17 unitats

Dispositius finals de la xarxa ZigBee:

- SONOFF SNZB-02 (sensor de temperatura i humitat) 🌡️ - 9 unitats
- SONOFF SNZB-03 (sensor de moviment) 📶 - 10 unitats
- SONOFF SNZB-04 (sensor detector d'obertura de porta/finestra) 🏠 - 10 unitats
- Aqara ZigBee (sensor detector fums) 🚒 - 1 unitat
- Aeotec SmartThings Water Leak Sensor (sensor per detectar les fugues d'aigua) 🚰 - 4 unitats
- Smart Garden Irrigation Control ZigBee 3.0 TUYA (actuador per l'obertura de l'aigua de rec) 🌿 - 1 unitat
- Tuya ZigBee (actuador del radiador intel·ligent) 🏠 - 10 unitats

Un altre punt a tenir en compte és que segons Phoscon, fabricant del dispositiu Conbee II, el dispositiu quan actua com a coordinador d'una xarxa ZigBee té un rang de senyal que sobrepasa les 2 o 3 habitacions (un diàmetre de rang de senyal de 30 metres), depenent del tipus de construcció. Aquest punt també s'ha tingut en compte en la configuració de la instal·lació. En la Figura 36 es pot veure com els dispositius més llunyans estan connectats a través de la xarxa ZigBee mitjançant encaminadors, ja que tots els dispositius ZigBee que estan alimentats per electricitat a 220-240V, actuen com a repetidors (encaminadors de la xarxa ZigBee) i per tant, poden encaminar el senyal de la xarxa de dispositius finals que estan allunyats del controlador.



Figura 36. Esquema per veure el possible rang de senyal del coordinador Conbee II. [Consulta: 30 de novembre del 2022] Disponible: <https://phoscon.de/en/conbee2>

Per poder analitzar si la distribució dels dispositius en la xarxa ZigBee que s'ha dissenyat és correcta, s'ha considerat que el rang de senyal del coordinador de la xarxa serà de 20 metres de diàmetre (cercle de color verd) i dels encaminadors de la xarxa serà de 10 metres de diàmetre (cercles de color magenta). S'han agafat uns valors de rang de senyal inferiors als proporcionats pels fabricants per contemplar un pitjor cas i assegurar que la distribució sigui adequada.

Com es pot veure en la següent figura, Figura 37, tots els dispositius (coordinadors, encaminadors i dispositius finals) queden englobats en la xarxa mallada de ZigBee.

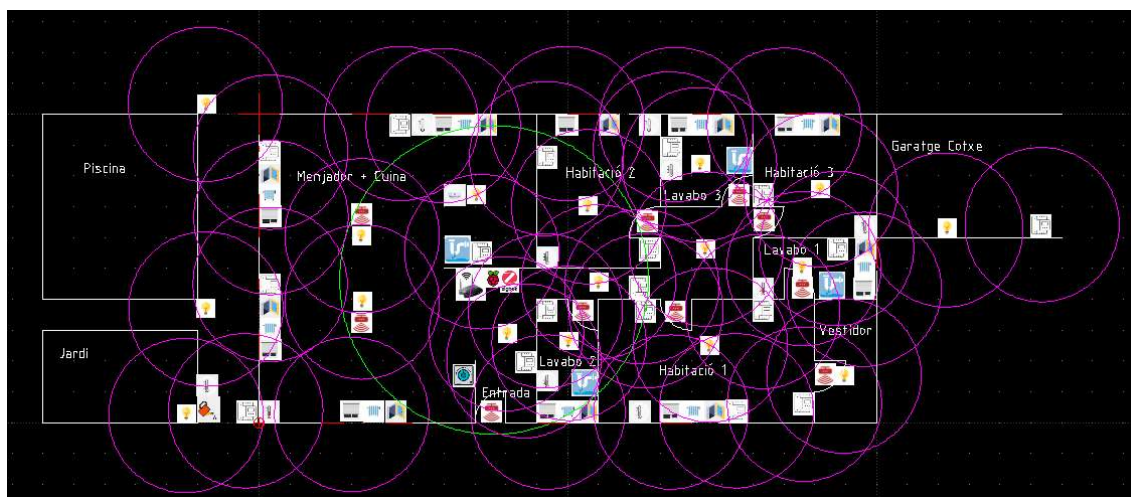


Figura 37. Plànol on es poden veure els dispositius de la xarxa ZigBee i el seu abast.

6. Solució desenvolupada

6.1. Disseny de la solució desenvolupada

En els apartats anteriors d'aquesta memòria s'han valorat, analitzat i escollit els diferents components i elements que configuren la proposta d'instal·lació domòtica d'aquest projecte. S'ha apostat per una solució que utilitza una Raspberry PI 4 Model B on s'instal·la el software Home Assistant. Aquesta proposta convertirà els missatges ZigBee dels dispositius en MQTT actuant com una passarel·la mitjançant el software Zigbee2MQTT, i ho farà amb el Broker MQTT Mosquitto, d'aquesta manera Home Assistant podrà gestionar aquests missatges MQTT per les diferents aplicacions. En la Figura 38 es pot veure un esquema general de la solució proposada, on surten els diferents dispositius de hardware escollits i els protocols de comunicació que s'utilitzen per la comunicació entre els diferents dispositius.

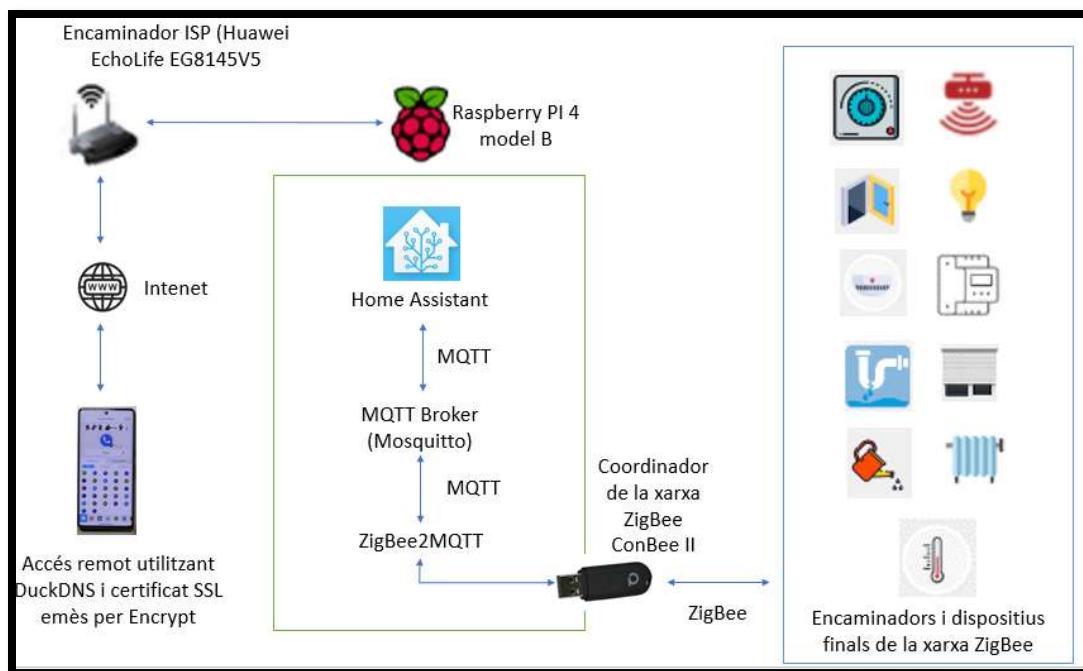


Figura 38. Esquema general dels dispositius escollits per la solució proposada en aquest projecte i quin protocol utilitzen per comunicar-se.

6.2. Prova instal·lació Home Assistant i els complements necessaris per el nostre sistema domòtic en una màquina virtual.

L'objectiu inicial i principal d'aquest treball final de grau era descriure un sistema teòric. No obstant, també s'ha procedit a fer una prova de concepte d'instal·lació de Home Assistant en una màquina virtual.

El primer que s'ha fet és descarregar i instal·lar l'última versió de Virtual Box des de <https://www.virtualbox.org/>. A continuació, s'ha creat una màquina virtual de Linux per poder instal·lar el programa Home Assistant.

Home Assistant ofereix quatre mètodes d'instal·lació diferents:

- **Home Assistant Operating System:** sistema operatiu mínim optimitzat per alimentar Home Assistant. S'ofereix amb Supervisor per gestionar Home Assistant Core i complements. És el mètode d'instal·lació recomanat per Home Assistant.
- **Home Assistant Container:** instal·lació independent basada en contenidors de Home Assistant Core (com per exemple, Docker).
- **Home Assistant Supervised:** instal·lació manual del supervisor.
- **Home Assistant Core:** instal·lació manual mitjançant l'entorn virtual Python.

En la següent Figura 39 es comparen els diferents mètodes de instal·lació de Home Assistant.

| | OS | Container | Core | Supervised |
|----------------|----|-----------|------|------------|
| Automations | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Dashboards | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Integrations | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Blueprints | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Uses container | ✓ | ✓ | ✗ | ✓ |
| Supervisor | ✓ | ✗ | ✗ | ✓ |
| Add-ons | ✓ | ✗ | ✗ | ✓ |
| Backups | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Managed OS | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ |

Figura 39. Comparació mètodes d'instal·lació d'Home Assistant. [Consulta: 30 de novembre del 2022] Disponible: <https://www.home-assistant.io/installation/>

S'ha escollit instal·lar Home Assistant Operating System ja que és el recomanat des de Home Assistant. En la Figura 40 es pot veure una imatge de com s'instal·la Home Assistant en la màquina virtual.



Figura 40. Home Assistant instal·lant-se en una màquina virtual des de virtualbox

Un cop instal·lada, l'usuari es connecta a través del navegador Chrome del sistema operatiu Windows 10 a Home Assistant. Al navegador cal posar la IP de la maquina virtual on s'ha instal·lat Home Assistant +:8123.

En la Figura 41 es pot veure com un cop efectuat aquest pas ja es pot crear un compte Home Assistant.

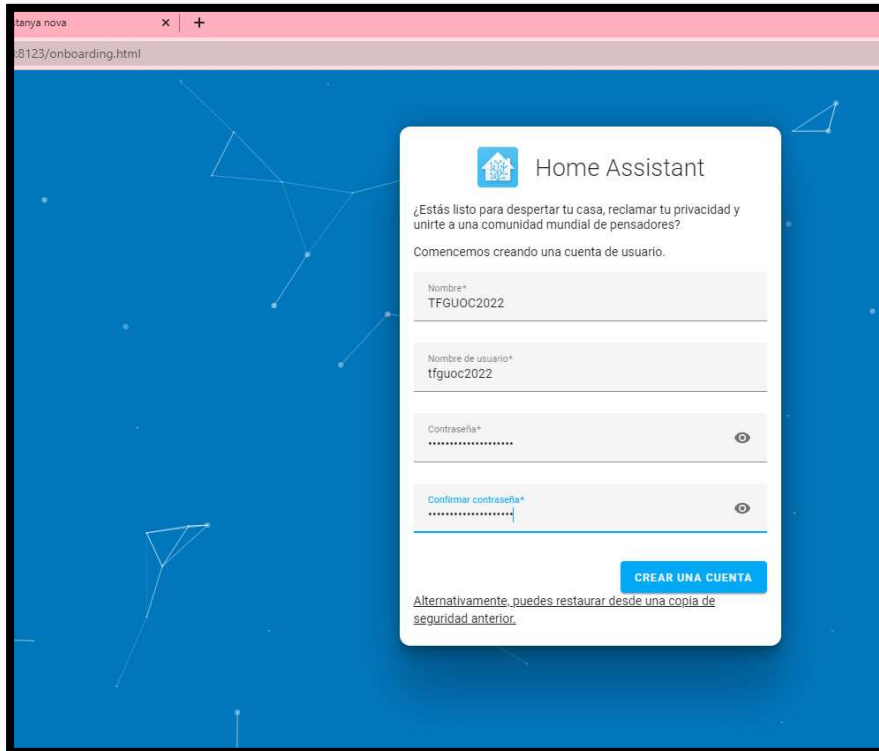


Figura 41. Creació d'un compte Home Assistant que s'ha instal·lat en una maquina virtual.

En la Figura 42 es pot veure com s'ha creat correctament l'usuari tfguoc2022 de Home Assistant.

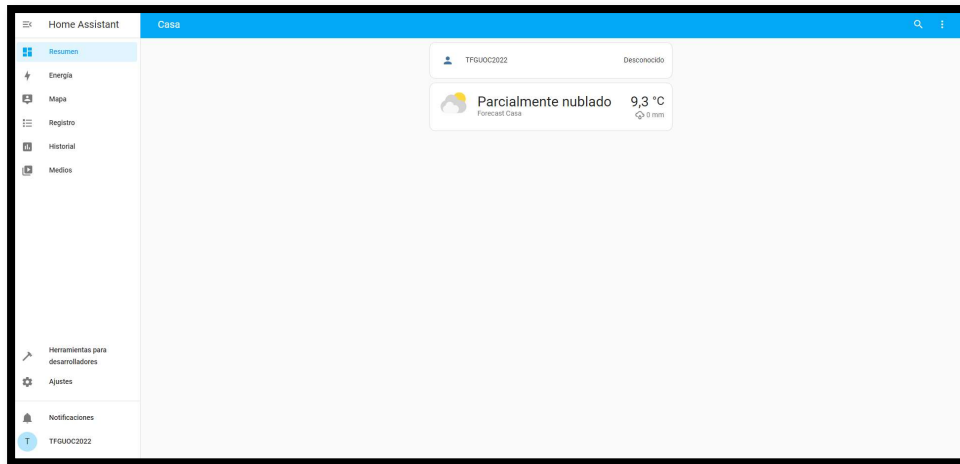


Figura 42. Creació usuari en Home Assistant.

Quan ja es disposa d'usuari, es pot procedir a la instal·lació a Home Assistant de diversos complements que s'utilitzen: File editor i Studio Code Server (serveixen per editar fitxers), Mosquitto broker (serveix per poder utilitzar el protocol MQTT), Duck DNS (serveix per accedir remotament a Home Assistant).

Seguidament, es pot ja instal·lar el complement Zigbee2MQTT, per fer-ho cal accedir a la pagina Zigbee2MQTT i copiar la url del complement, que en aquest cas és: <https://github.com/zigbee2mqtt/hassio-zigbee2mqtt>. A continuació, a través del menú complements, s'afegeix el nou repositori que després permetrà descarregar la versió estable de zigbee2mqtt. En la següent figura, Figura 43, es pot observar una imatge de Home Assitant on ja s'ha instal·lat el complement.

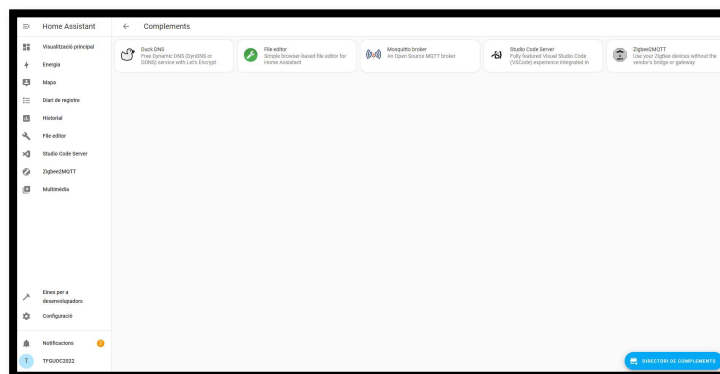


Figura 43. Complementos instal·lats en Home Assistant.

Per continuar amb la configuració del complement zigbee2mqtt es necessari modificar l'arxiu configuration.yaml. En la següent figura, Figura 44, es pot veure arxiu modificat

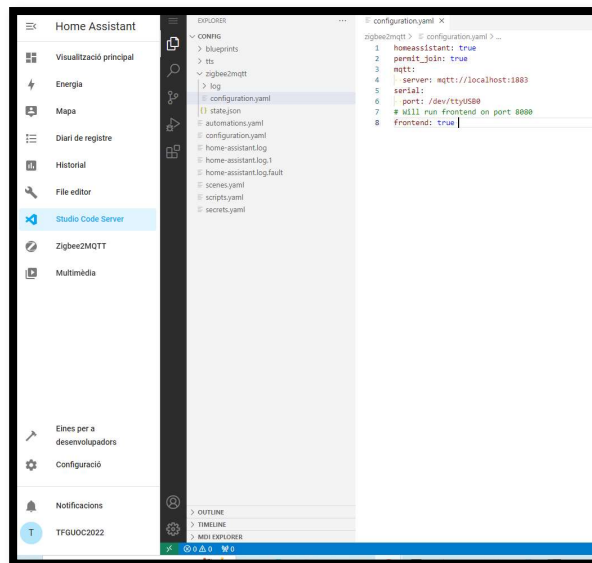


Figura 44. Configuració de l'arxiu configuration.yaml

Per aquesta prova de concepte teòrica no es disposava físicament de cap coordinador, de manera que quan s'inicia el complement zigbee2mqtt el sistema donava error. En una instal·lació real, quan es té el coordinador i s'ha configurat, és necessari anar afegint els dispositius de la xarxa domòtica a Home Assistant. Seria interessant posar-ho en pràctica en futurs projectes de caràcter pràctic.

6.3. Accés remot a la solució domòtica

En aquest apartat es valorarà la millor manera de poder accedir de forma remota a la nostra solució domòtica que utilitza el software d'Home Assistant. S'ha estudiat la possible utilització del servei Nabu Casa i la utilització DuckDNS i certificat SSL emès per Encrypt

6.3.1. Accés remot utilitzant el servei Nabu Casa

Nabu Casa, va ser fundada l'any 2018 pels fundadors de Home Assistant, és un servei de subscripció de pagament per controlar el software de Home Assistant des de qualsevol lloc i de manera que les dades de l'usuari estan xifrades.

El preu de la subscripció el servei és de 7,5 € mensuals o 75 € anuals (segons fonts consultades el 21/12/2022).

6.3.2. Accés remot utilitzant DuckDNS i certificat SSL emès per Encrypt.

Aquesta opció permet connectar-se de forma remota a la solució domòtica utilitzant alguns add-ons oficials de Home Assistant com són DuckDNS i DNS Masq.

Dunk DNS és un servei gratuït que apunta un DNS (subdominis de duckdns.org) a una IP que escollida. Aquest complement inclou suport per a Let's Encrypt, i permet crear i renovar automàticament els certificats. Per utilitzar aquest servei, primer cal registrar-se i obtenir un compte DNS de Duck.

DNS Masq configura i gestiona un servidor DNS DNSMasq, d'aquesta manera permet a l'usuari manipular les sol·licituds de DNS.

S'utilitza un DuckDNS enlloc d'una IP pública perquè l'IP pública que l'usuari té assignada és dinàmica (canvia cada cert temps). Es podria demanar a l'ISP (proveïdor d'internet) de l'usuari que li assigni una IP fixa però aquest tràmit té un cost monetari. Per tant, la solució més econòmica és utilitzar un servidor de dominis, un DNS. El DNS permetrà assignar a l'IP de l'usuari un nom fàcil de recordar, de forma que tradueix direccions IP en noms fàcils de tractar per les persones. La tasca que realitza add-on de DuckDNS és que avisa al compte de l'usuari a DuckDNS quina és l'IP constantment, i així mai perd l'accés quan l'ISP de l'usuari canvia l'IP pública.

DuckDNS és un projecte gratuït de DNS (Sistema de noms de domini) hostejat en servidors d'Amazon AWS. No és un servei gaire ràpid però si completament gratuït.

6.3.3. Elecció de l'accés remot a la solució domòtica

De les dues possibles solucions s'ha escollit utilitzar un accés remot a través de DuckDNS i certificat SSL emès per Encrypt perquè és una opció gratuïta que ofereix la mateixa funcionalitat.

6.4. Solucions d'alta disponibilitat, de redundància i que permetin solucionar els problemes del sistema domòtic proposat.

El disseny proposat, presenta una arquitectura centralitzada amb el controlador de la xarxa ZigBee. Això dificulta que aquest sistema domòtic tingui opcions d'alta disponibilitat i redundància.

A continuació, es presenten diverses solucions que es podrien implementar per obtenir millores en la disponibilitat, redundància i que permetrien solucionar les limitacions del sistema de domòtica proposat.

- Es proposa incloure un sistema d'activació manual i automàtica de tots els elements que formen part de la xarxa domòtica. Tots els elements que formen part del sistema domòtic s'han de poder utilitzar de forma manual en cas que la solució domòtica no funcioni, per exemple en cas que hagi una caiguda del sistema es important que es pugin obrir els llums de la instal·lació de forma manual amb l'interruptor. La introducció d'aquesta solució no incrementa molt el cost del projecte.
- Es proposa instal·lar el complement Drive Backup a Home Assistant que permet realitzar còpies de seguretat de forma automàtica del sistema Home Assistant que s'ha instal·lat en la Raspberry PI. D'aquesta manera, en cas que hi hagi un problema amb el hardware de la solució, es pot restaurar de nou en un altre equip. Aquesta solució és gratuïta i no incrementarà per tant el cost del projecte.
- Es proposa instal·lar Home Assistant en una màquina virtual en un dispositiu diferent a la Raspberry PI (aquest dispositiu actua com a centralita domòtica del nostre sistema domòtic). Aquesta estratègia permet que en cas de problemes amb la Raspberry PI, Home Assistant es podrà controlar des d'un altre equip de forma temporal. De nou, es tracte d'una solució gratuïta que no incrementa el pressupost i facilita recuperar tot el sistema en cas de problemes.
- Es proposa utilitzar el tipus de xarxa ZigBee mallada. S'aplica en la solució domòtica que s'ha dissenyat ja que ens ofereix les següents avantatges: una propagació de missatges més eficients i rutes alternatives si un enllaç falla o hi ha congestió.
- Es proposa tenir un altre dispositiu Conbee II de reserva. El dispositiu Conbee II actua com a coordinador de la nostra xarxa Zigbee, en cas de que deixi de funcionar el sistema domòtic cau. És un dispositiu crític del nostre sistema i és molt important tenir-ne un de reserva per recuperar el més aviat possible el funcionament de la instal·lació.
- Es proposa la monitorització d'entitats (sensors) no disponibles. Es pot implementar una plantilla perquè es pugui retornar un recompte d'entitats no disponibles o desconegudes. Per implementar aquesta opció només cal descarregar "package_unavailable_entities.yaml" de la url: <https://github.com/jazzyisj/unavailable-entities-sensor> en el directori de paquets de l'usuari a Home Assistant. És gratuït i clau per alertar-nos de problemes en sensors de forma immediata.
- S'ha valorat però descartat la implementació d'HAHA (Highly Available Home Assistant). És una solució de Docker swarm que permet executar Home Assistant en una configuració de failover altament disponible. Per implementar-

la cal accedir a l'url: <https://github.com/cvb941/HAHA> i configurar una sincronització basada en fitxers en temps real entre els nodes del directori de Home Assistant i els fitxers de retenció Mosquitto, utilitzant el sistema de fitxers de xarxa GlusterFS. Pel que fa a la base de dades MariaDb utilitzada per a l'enregistrament de l'històric de Home Assistant, el Galera Cluster es configura i s'utilitza en una configuració master/master, sincronitzant les bases de dades a tot el clúster. S'ha descartat aquesta opció ja que requereix un mínim de tres dispositius que actuïn com a centraleta domòtica i que formin part del clúster del sistema. Aquesta solució seria més adequada de plantejar en sistemes molt més crítics i amb més pressupost.

- S'ha valorat però descartat l'aplicació de redundància per votació 2oo3. Aquesta opció es basa en tenir en compte tres instruments/sensors mesurant la mateixa variable. En teoria, els tres han de mesura el mateix, però en realitat sempre hi ha petites desviacions. A la següent taula, Taula 10, es mostra quin valor s'agafa com a resultat segons quina situació tinguin els 3 sensors.

Taula 10. Redundància per votació 2oo3

| Situació | Resultat |
|--|--|
| 3 sensors funcionant dels 3 que s'han instal·lat | Mediana dels 3 valors dels 3 sensors |
| 2 sensors funcionant dels 3 que s'han instal·lat | Mitja dels 2 valors dels 2 sensors que tenen operatius |
| 1 sensor funcionant dels 3 que s'han instal·lat | Sensor que queda operatiu |
| Cap sensor dels 3 que s'han instal·lat funciona | Error |

Font: <https://www.pacienciadigital.com/redundancia-sensores-home-assistant/>

Per aquest projecte es desestima l'opció d'aplicar redundància per votació 2oo3 ja que augmentaria molt el cost de la solució. Aquest sistema seria més necessari en sistemes molt crítics i amb més pressupost.

6.5. Seguretat de la solució

El projecte proposat és una solució domòtica on les connexions entre els diferents dispositius es realitza sense fils. La seguretat en les comunicacions sense fils és proporcional a la relació que hi ha entre la seva utilització i topologia de la xarxa. Poden identificar-se tres tipus de connexió:

- **Connexions de vida curta.** Exemples d'aquestes connexions són transferència d'arxius, treure dades d'una impressora, missatgeria, etc.
- **Connexions de vida mitja.** Exemples d'aquestes connexions són trucades, sessions, etc
- **Connexions de vida llarga.** Exemples d'aquestes connexions són les xarxes sense fils de sensors.

La solució domòtica que s'ha dissenyat és una xarxa que té connexions de vida llarga. Actualment, existeix número creixent d'aplicacions amb aquest tipus de xarxa en molts entorns de la societat. Aquestes xarxes sense fils de sensors presenten una gran quantitat de vulnerabilitats degut a que consten de recursos limitats (poca memòria i vida de la bateria) i posseeixen potència de computació baixa. Les amenaces es poden classificar atenent a la capa de l'arquitectura de protocols implicats:

- **Capa física:** com el jamming i pertorbacions (atac a la disponibilitat i DoS).
- **Capa d'enllaç de dades:** com les col·lisions, la no equitat d'accés.
- **Capa de xarxa:** com la falsificació/alteració, la retransmissió de la informació de routing, el reenviament selectiu.
- **Capa de transport:** com la inundació i la de-sincronització.
- **Capes superiors:** com malware/virus/cuc, el seguiment de la localització ja que la senyal de radio permet traçabilitat.

Conseqüentment, cal protegir les dades dels sensors que poden ser crítics de naturalesa sensible i que estan exposats a amenaces de seguretat (Ex. cucs, virus, troians, ...). És essencials incorporar capacitats de seguretat-privacitat al sistema com: autenticació, autorització, confidencialitat, integritat, no repudi, anonimat, control d'accés, registre-monitorització, etc.

La solució proposada utilitza al protocol de comunicació ZigBee que està basat en l'estàndard sense fils del IEEE 802.15.4 i es caracteritza en els nivells més baixos: físics/L1(PHY) i MAC (Media Access Control)/L2. La plataforma Aliança ZigBee defineix els nivells superiors de xarxes/seguretat i framework d'aplicació. En nivell més alt es troba de perfils/aplicacions definit per ZigBee o OEM.

ZigBee està dissenyat per consums baixos de potència i per aplicacions de baixa velocitat de dades. La implementació de xarxa ZigBee en aquest projecte, és una xarxa auto organitzada en malla de tots els dispositius tipus sensor, i està dissenyat per informar de les condicions de l'entorn de forma fiable, precisa i a temps real. L'alta disponibilitat, baix preu, i baixos requisits de recursos, de les xarxes ZigBee el fan el

candidat ideal per aplicacions de domòtica com la que es busca en aquest projecte. A més, com es descriu en l'apartat 3, ZigBee és un estàndard de xarxa de sensors sense fils emergent amb un gran potencial d'utilitzar-se en àrees on la seguretat és crítica i per tant ofereixi una bona garantia de seguretat ara i en els propers anys.

Actualment ZigBee utilitza algoritme criptogràfic simètric o de secret compartit Advanced Encryption Standard (AES-128) amb claus de 128 bits pel xifrat. Degut a que AES és un mecanisme simètric no permet les funcionalitats que ofereixen els mecanismes criptogràfics asimètrics o de clau pública com són la firma digital i la distribució de la clau de sessió sense la intervenció de claus criptogràfiques. Degut als requisits estrictes de seguretat d'algunes aplicacions de control i monitorització de missió crítica es requereix l'autenticació per firma digital de l'usuari per permetre la comunicació dels dispositius amb ZigBee. En aquests casos seria necessari implementar criptografia asimètrica de poca exigència de recursos com CPU, memòria i alimentació elèctrica com RSA basat en CRT i ECC.

La seguretat de les xarxes de sensors sense fils com les basades en ZigBee és molt important i cal gestionar-les adequadament. Els riscos que poden tenir són les vulnerabilitats teòriques (a través de la injecció i la generació intel·ligent de Protocol Data Units (PDUs) i, la captura de patrons-perfils de flux de tràfic), les escoltes clandestines amb sniffers, les interferències de canal, el conflicte de l'assignació de direccions, el routing amb inundació en la xarxa, l'escolta clandestina de claus, els defectes del xifrat simètric sense protecció d'integritat/autenticació, la no certificació d'identitat en els servies de seguretat, etc. Les possibles contramesures que es poden aplicar són l'autenticació basada en firma digital ECC o ECDSA o RSA amb CRT, l'intercanvi de claus D-H (Diffie-Hellman) basat en ECC (Elliptic Curve Cryptography), l'establiment de canals standby, etc. En la següent figura, Figura 45, es pot veure la criptografia de corbes el·líptiques per la tecnologia ZigBee.

CRIPTOGRAFÍA ASIMÉTRICA DE CURVAS ELÍPTICAS PARA ZIGBEE

- EXPRESIONES PARA SUMAR PUNTOS CON CURVAS ELÍPTICAS:** Existen tres casos: (1) *Sumar puntos diferentes:* $(x_1, y_1) + (x_2, y_2) = (x_3, y_3)$ donde $x_1 \neq x_2$. En este caso $x_3 = (d^2 - x_1 - x_2) / d$; $y_3 = d \cdot (x_1 - x_3) - y_1$; $d = (y_2 - y_1) / (x_2 - x_1)$. (2) *Sumar puntos iguales:* $(x_1, y_1) + (x_2, y_2) = (x_3, y_3)$ donde $x_1 = x_2$, $y_1 = y_2$. En este caso: $x_3 = (d^2 - 2x_1) / d$; $y_3 = d \cdot (x_1 - x_3) - y_1$; $d = (3 \cdot (x_1)^2 + a) / 2y_1$ donde a es el coeficiente de la x en la curva elíptica $y^2 = (x^3 + ax + b) \pmod{p}$. (3) *Sumar puntos:* $(x_1, y_1) + (x_2, y_2) = (x_3, y_3)$ donde $x_1 = x_2$, $y_1 = -y_2$. En este caso: $(x, y) + (x, -y) = O$ (punto origen en el infinito). Si $P = (x, y)$ entonces $-P = (x, -y)$; $P + O = P$; $2P = P + P$.
- TABLA DE SUMAS:** Dada la curva elíptica no singular de 18 puntos: $y^2 = (x^3 + 5x + 7) \pmod{23}$, un posible punto $G = (21, 9)$ cumple: $18G = O$.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|---------|---------|---------|--------|--------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 0 | (1,6) | (1,7) | (2,5) | (2,18) | (3,7) | (3,16) | (5,0) | (11,6) | (11,17) | (12,1) | (12,22) | (18,8) | (18,15) | (21,9) | (21,14) | (22,1) | (22,22) |
| (1,6) | O | (2,18) | (2,5) | (2,18) | (3,7) | (3,16) | (5,0) | (11,6) | (11,17) | (12,1) | (12,22) | (18,8) | (18,15) | (21,9) | (21,14) | (22,1) | (22,22) |
| (1,7) | O | (2,18) | (2,5) | (2,18) | (3,7) | (3,16) | (5,0) | (11,6) | (11,17) | (12,1) | (12,22) | (18,8) | (18,15) | (21,9) | (21,14) | (22,1) | (22,22) |
| (2,5) | (2,18) | (2,5) | O | (2,18) | (3,7) | (3,16) | (5,0) | (11,6) | (11,17) | (12,1) | (12,22) | (18,8) | (18,15) | (21,9) | (21,14) | (22,1) | (22,22) |
| (2,18) | (2,5) | (2,18) | O | (2,18) | (3,7) | (3,16) | (5,0) | (11,6) | (11,17) | (12,1) | (12,22) | (18,8) | (18,15) | (21,9) | (21,14) | (22,1) | (22,22) |
| (3,7) | (3,16) | (3,7) | (3,16) | (3,7) | O | (3,16) | (5,0) | (11,6) | (11,17) | (12,1) | (12,22) | (18,8) | (18,15) | (21,9) | (21,14) | (22,1) | (22,22) |
| (3,16) | (3,7) | (3,16) | (3,7) | (3,16) | (3,7) | O | (3,16) | (5,0) | (11,6) | (11,17) | (12,1) | (12,22) | (18,8) | (18,15) | (21,9) | (21,14) | (22,22) |
| (5,0) | (11,6) | (11,17) | (11,17) | (11,6) | (11,6) | (11,17) | (11,17) | O | (11,6) | (11,17) | (12,1) | (12,22) | (18,8) | (18,15) | (21,9) | (21,14) | (22,22) |
| (11,6) | (11,17) | (11,17) | (11,6) | (11,6) | (11,6) | (11,17) | (11,17) | O | (11,6) | (11,17) | (12,1) | (12,22) | (18,8) | (18,15) | (21,9) | (21,14) | (22,22) |
| (11,17) | (11,6) | (11,17) | (11,6) | (11,6) | (11,6) | (11,17) | (11,17) | O | (11,6) | (11,17) | (12,1) | (12,22) | (18,8) | (18,15) | (21,9) | (21,14) | (22,22) |
| (12,1) | (12,22) | (12,1) | (12,22) | (12,1) | (12,1) | (12,22) | (12,22) | (12,1) | O | (12,1) | (12,22) | (18,8) | (18,15) | (21,9) | (21,14) | (22,1) | (22,22) |
| (12,22) | (12,1) | (12,22) | (12,1) | (12,1) | (12,1) | (12,22) | (12,22) | (12,1) | O | (12,1) | (12,22) | (18,8) | (18,15) | (21,9) | (21,14) | (22,1) | (22,22) |
| (18,8) | (18,15) | (18,8) | (18,15) | (18,8) | (18,8) | (18,15) | (18,15) | (18,8) | (18,15) | O | (18,8) | (18,15) | (18,8) | (18,15) | (21,9) | (21,14) | (22,22) |
| (18,15) | (18,8) | (18,15) | (18,8) | (18,8) | (18,8) | (18,15) | (18,15) | (18,8) | (18,15) | O | (18,8) | (18,15) | (18,8) | (18,15) | (21,9) | (21,14) | (22,22) |
| (21,9) | (21,14) | (21,9) | (21,14) | (21,9) | (21,9) | (21,14) | (21,14) | (21,9) | (21,14) | (21,9) | O | (21,9) | (21,14) | (21,9) | (21,14) | (22,1) | (22,22) |
| (21,14) | (21,9) | (21,14) | (21,9) | (21,9) | (21,9) | (21,14) | (21,14) | (21,9) | (21,14) | (21,9) | O | (21,9) | (21,14) | (21,9) | (21,14) | (22,1) | (22,22) |
| (22,1) | (22,22) | (22,1) | (22,22) | (22,1) | (22,1) | (22,22) | (22,22) | (22,1) | (22,22) | (22,1) | (22,22) | O | (22,1) | (22,22) | (22,1) | (22,22) | (22,1) |
| (22,22) | (22,1) | (22,22) | (22,1) | (22,1) | (22,1) | (22,22) | (22,22) | (22,1) | (22,22) | (22,1) | (22,22) | O | (22,1) | (22,22) | (22,1) | (22,22) | (22,1) |

- PROCESOS DE CIFRADO/DESCIFRADO:**
Dada la curva elíptica: $y^2 = (x^3 + 5x + 7) \pmod{23}$ sobre $GF(23)$.
PROCESOS:
(1) **GENERACIÓN CLAVES:** Sea $G = (21, 9)$, $n_B = 17$, $P_B = n_B \cdot G = 17 \cdot (21, 9) = (21, 14)$.
(2) **CIFRADO** del mensaje $M = (21, 14)$. El emisor elige en secreto un valor de un sólo uso (nonce) $k = 8 \rightarrow C = (C_1, C_2) = [k \cdot G, (M + k \cdot P_B)] = [8 \cdot (21, 9), (21, 14) + 8 \cdot (21, 14)] = [(12, 22), (21, 14) + (12, 1)] = [(12, 22), (6, 0)]$.
(3) **DESCIFRADO** del criptograma C . El texto en claro M es:
 $M = [C_2 - n_B \cdot C_1] = (6, 0) - 17 \cdot (12, 22) = (6, 0) - (12, 1) = (6, 0) + (21, 22) = (21, 14)$ c.q.d.

Figura 45. Criptografía de corbes el·líptiques per la tecnologia ZigBee. [Consulta: 30 de novembre del 2022]
Disponible: https://www.redeweb.com/_txt/682/114.pdf

L'especificació de ZigBee estableix que les decisions com actualitzar/expirar les claus criptogràfiques, la saturació de comptadors, la pèrdua de sincronització i les condicions d'error que sorgeixen de protegir trames, s'han de incloure en el nivell de perfils/aplicació de l'arquitectura i han de ser abordats en les implementacions reals. És important recalcar que el fet de delegar qüestions crítiques a les implementacions reals i no definir-les en l'especificació pot crear problemes de seguretat.

Cal destacar que l'estàndard de WPAN ZigBee/802.15.4 suporta la confidencialitat i l'autenticitat de les dades, així com la protecció contra repeticions, per xarxes sense fils. Consta de dispositius amb requisits de recursos molt baixos i es defineixen bàsicament tres tipus de dispositius-nodes que pot classificar-se en dues categories:

- **Dispositius amb totes les funcionalitats:**

- Els coordinadors ZigBee són els únics dispositius capaços d'iniciar una nova formació de xarxa. Són els dispositius amb major número de capacitats, permeten iniciar la xarxa i en formen l'arrel per fer de pont cap a altres xarxes . Només existeix un d'aquests dispositius en cada xarxa, actua com centre de confiança i repositori de claus de seguretat. També en permet la sincronització.
- Els encaminadors ZigBee realitzen funcions complexes, actua com un encaminador que permet passar les dades entre dispositius. Retransmet les dades i permet augmentar la cobertura de la xarxa.
- **Dispositiu amb funcionalitat reduïda:**
 - Dispositius finals ZigBee. Només es pot comunicar amb un dispositiu coordinador o amb un encaminador, realitzant les funcionalitats bàsiques (sensors, actuadors, etc). Poden estar en mode adormit durant amplis períodes de temps. Tots els dispositius d'aquesta categoria proporcionen les següents funcionalitats addicionals: participar en assignar direccions lògiques de xarxa i mantenir una llista de dispositius veïns.

La versió ZigBee PRO defineix dos modes de seguretat diferents:

- **Mode de seguretat estàndard.** La llista de dispositius, les claus mestres, les claus d'enllaç i les claus de xarxa poden ser mantingudes de forma correcta pel centre de confiança o pels propis dispositius. El centre de confiança és responsable de mantenir la clau de xarxa estàndard i controla les polítiques d'admissió a la xarxa. En aquest mode els requisits de memòria pel centre de confiança són menors que pel mode d'alta seguretat.
- **Mode de seguretat elevat.** El centre de confiança manté la llista de dispositius, les claus mestres, les claus enllaç i les claus de xarxa que necessita per controlar i aplicar les polítiques d'actualitzacions de claus de xarxa i la d'admissió a la xarxa. A mesura que creix el nombre de dispositius de la xarxa, també creix la memòria requerida pel centre de confiança.

ZigBee utilitza un model de confiança obert on els nivells de la pila de protocols confien entre si, això és possible ja que els dispositius ZigBee normalment són microcontroladors sense fils d'única xip. La protecció criptogràfica només passa entre dispositius i s'utilitza al mateix nivell de la suite de seguretat per tots els serveis.

L'estàndard que defineix els següents serveis de seguretat:

- Establiment de clau.
- Transport de la clau.

- Protecció de trama.
- Autorització del dispositiu.

Per una bona seguretat i un correcte funcionament de la xarxa ZigBee ha incloure un únic dispositiu denominat centre de confiança (aquest rol normalment assumeix el coordinador de la xarxa ZigBee) que controla l'accés i distribueix les claus, les seves principals funcionalitats són:

- Mantenir i distribuir les claus de xarxa.
- Autenticar un dispositiu dins la xarxa.
- Permet el sistema de seguretat extrems a extrem entre dispositius.

Es defineixen dos modes de funcionament:

- **Mode residencial** (baixa seguretat): Permet que els dispositius s'ajuntin a la xarxa però no estableixen claus.
- **Mode comercial** (alta seguretat): Estableix i manté les claus i comptadors de no repeticions de missatges amb cada dispositiu.

Una altre punt és que el control i actualització de claus es realitza de forma centralitzada amb ZigBee. La seguretat de ZigBee es basa en claus simètriques de manera que ambdós parts comparteixen la mateixa clau. S'han definit tres mètodes bàsics per portar a terme aquest procés relacionat amb les claus:

- **Pre-instal·lació:** Les claus es col·loquen en el dispositiu abans de desplegar-lo o amb mètodes fora de banda (si les comunicacions no es protegeix degudament amb xifrat HTTPS/SSL/TLS ens trobem amb un problema de seguretat).
- **Transport:** El centre de confiança envia la clau (de forma segura on sigui possible) al dispositiu.
- **Establiment:** El dispositiu i el centre de confiança negocien la clau bé amb "l'establiment de clau simètric" o amb "l'establiment de clau basada en certificats".

En les xarxes ZigBee s'ha definit tres tipus de claus:

- **Clau mestra:** Dissenyada per la seguretat a llarg termini entre dos dispositius. Pot ser pre-instal·lada o tramesa per l'aire (si es transmet els missatges en text en clar, sorgeix el risc de les escoltes clandestines per part dels adversaris).
- **Clau d'enllaç:** Proporciona seguretat entre dos i només dos dispositius, es calcula a partir de la clau mestra. Pot ser pre-instal·lada o distribuïda per el centre de confiança.

- **Clau de xarxa:** És una clau global utilitzada per tots els dispositius de la xarxa. El centre de confiança guarda un conjunt de claus de xarxa i la clau corrent s'identifica per un número de seqüència.

ZigBee proporciona quatre característiques de seguretat:

- **Missatge nou/no repetit:** Els dispositius ZigBee manté comptadors per generar marques de temps de 32 bits per entrades i sortides (aproximadament es repeteixen en 136 anys amb una taxa d'una comunicació per segon).
- **Integritat dels missatges:** Pot utilitzar 0 (no s'utilitza), 32, 64 o 128 bits per comprovacions d'integritat; per defecte el valor és de 64.
- **Autenticació:** A nivell de xarxa es realitza a través de una clau de xarxa comú. A nivell de dispositiu es realitza utilitzant una única clau d'enllaç.
- **Xifrat:** ZigBee utilitza l'algoritme de criptografia simètrica AES-128 bits pel xifrat (encara l'algoritme és robust, és perillós si la implementació té errors). Pot fer-se a nivell de xarxa (amb clau de xarxa) o a nivell de dispositiu (utilitzant una clau d'enllaç). Existeix dos qüestions de seguretat relacionades amb l'actualització de claus. Degut a que ZigBee utilitza dispositius amb recursos limitats, l'actualització de la clau s'ha de realitzar offline o per l'aire. El principal problema és el tipus Over-The-Air (OTA), on la clau es pot transmetre en text i per tant, les escoltes clandestines podrien robar la clau. La clau es guarda en el dispositiu, per tant la seguretat física dels dispositius no es pot garantir per exemple en les xarxa de sensors. Un atacant només necessita un accés a un dispositiu (inclòs un dispositiu final ZigBee) i pot recuperar la clau realitzant un hackeig. En aquest cas pot tornar a col·locar el dispositiu hackejat en la xarxa (atac des de dins) de manera que es guanya accés de forma inherent a la xarxa. Com a contramesures es pot usar la clau d'enllaç a la vegada que la clau de xarxa per limitar els atacs des de l'entorn als sensors directament connectats el dispositiu hackejat.

Alhora de realitzar el disseny i implementació una solució domòtica que utilitza el protocol ZigBee s'han de tenir en compte totes les observacions mencionades perquè la xarxa domòtica sigui el més segura possible.

6.6. Escalabilitat del projecte

En aquest apartat s'analitza si és possible escalar el disseny proposat, i quines possibles millores s'hi podrien introduir en aquesta solució domòtica.

La solució proposada utilitza el protocol de comunicació ZigBee. La utilització d'aquest protocol aporta major possibilitats d'escalabilitat que altres protocols sense fils com Bluetooth. Per exemple, ZigBee permet utilitzar fins a 65535 dispositius distribuïts en subxarxes de 255 nodes, en canvi el protocol Bluetooth permet com a màxim 8 nodes. Per tant, el sistema proposat pot incrementar el numero de dispositius casi de forma infinita. El que pot provocar un creixement de la xarxa és que falli la targeta SD del dispositiu Raspberry PI 4 model B (és l'element més dèbil de tot el sistema domòtic que s'ha dissenyat en aquest treball) o la mateixa Raspberry. Per solucionar el problema és podria realitzar una migració a un dispositiu més potent, la millor solució seria utilitzar un dispositiu NUC. En cas que es realitzi aquesta migració en un futur, el dispositiu que actua com a controlador de la nostra xarxa ZigBee (Conbee II) té la funció de copia de seguretat de l'aplicació Phoscon, que permet transferir una instal·lació de ZigBee el nou sistema amb NUC.

Finalment també es podria instal·lar un NAS (Network Attached Storage), que és un disc dur amb connexió a la xarxa d'Ethernet, que permetria emmagatzemar les dades d'unes futures càmeres que es podrien instal·lar en el nostre sistema domòtic.

7. Pressupost de la solució

En el present apartat de la memòria es comptabilitza el cost de la solució del sistema domòtic proposat. El cost de la solució només comptabilitza el cost del hardware que s'hauria de comprar per realitzar el projecte i no inclou el cost del temps per implementar tot el sistema ja que es tracta d'una aproximació teòrica i seria molt difícil de calcular. Per saber el preu de cada dispositiu, s'ha realitzat una cerca a Internet el dia 17/12/2022 i s'ha buscant el preu més competitiu de cada dispositiu. El resum obtingut es mostra en la Taula 11.

Taula 11. Resum cost dispositiu de la instal·lació

| Dispositiu | Tipus de dispositiu | Numero unitats necessaries | Preu (€)/Unitat | Preu Total (€) |
|---|---------------------------------------|----------------------------|-----------------|----------------|
| Huawei EchoLife EG8145V5 | Encaminador de la companyia ISP | 1 | 0 | 0 |
| Raspberry PI 4 model B | Centraleta domòtica | 1 | 95,4 | 95,4 |
| ConBee II | Controlador de la xarxa ZigBee | 2 | 30,46 | 60,92 |
| Relé Tuya Smart | Encaminadors de la xarxa ZigBee | 18 | 14,9 | 268,2 |
| Termòstat MOES | Encaminadors de la xarxa ZigBee | 1 | 55,95 | 55,95 |
| Vivogar (Actuador per la motorització de persianes) | Encaminadors de la xarxa ZigBee | 10 | 24,99 | 249,9 |
| Bombeta INNR | Encaminadors de la xarxa ZigBee | 7 | 29,99 | 209,93 |
| SONOFF SNZB-02 (sensor de temperatura i humitat) | Dispositius finals de la xarxa ZigBee | 9 | 9,9 | 89,1 |
| SONOFF SNZB-03 (sensor de moviment) | Dispositius finals de la xarxa ZigBee | 10 | 8,61 | 86,1 |
| SONOFF SNZB-04 (sensor detector d'obertura de porta/finestra) | Dispositius finals de la xarxa ZigBee | 10 | 8,4 | 84 |
| Aqara ZigBee (sensor detector fums) | Dispositius finals de la xarxa ZigBee | 1 | 42,03 | 42,03 |
| Aeotec SmartThings Water Leak Sensor (sensor per detectar les fugues d'aigua) | Dispositius finals de la xarxa ZigBee | 4 | 34,99 | 139,96 |
| Smart Garden Irrigation Control ZigBee 3.0 TUYA (actuador per obertura de l'aigua de rec) | Dispositius finals de la xarxa ZigBee | 1 | 43,9 | 43,9 |
| Tuya ZigBee (actuador del radiador intel·ligent) | Dispositius finals de la xarxa ZigBee | 10 | 27,97 | 279,7 |
| Total | | | | 1705,09 |

El cost total de tots els dispositius és de 1705,09 euros. L'encariment del pressupost es deu principalment a que el sistema domòtic dissenyat hi ha molts dispositius connectats per poder complir amb tots els requeriments proposats per aquest projecte. Amb tot, aquesta opció esdevé la més competitiva i assequible, qualsevol altre disseny, amb uns altres dispositius i protocols de comunicació per complir amb els mateixos objectius resultaria més costós el pressupost seria molt més gran.

8. Conclusions

Les principals conclusions de l'estudi s'exposen a continuació.

- S'ha complert objectiu d'aquest TFG que era realitzar una prova de concepte teòrica, per demostrar la viabilitat de realitzar un disseny i la implementació d'una instal·lació domòtica basada en una solució Open Source de baix cost complint amb els requeriments establerts.
- La solució utilitza el software Open Source Home Assistant.
- La solució utilitza els protocols de comunicacions sense fils, estàndards i oberts ZigBee i MQTT.
- L'administració de dades és controlada per l'usuari en tot moment i no depèn de solucions propietàries dels fabricants.
- S'ha dissenyat una solució tenint com a principal premissa aconseguir una solució de baix cost, que integri dispositius de diferents fabricants i que compleixi amb la normativa sobre instal·lacions de domòtica.
- S'ha dissenyat una interfície del sistema que permet l'accés remot a la solució utilitzant DuckDNS i el certificat SSL emès per Encrypt.
- En el disseny de la solució permet controlar en temps real les variables de l'entorn i s'han buscat opcions d'alta disponibilitat, de redundància i que permetin solucionar futurs problemes del sistema domòtic proposat.
- També s'han estudiat possibles millores que s'haurien de fer a la instal·lació per si s'ha d'escalar el sistema.

El llarg del grau realitzat a la UOC he pogut nous coneixements que m'han permès abordar aquest projecte, especialment els continguts de l'assignatura d'Administració de Xarxes i Sistemes Operatius. A nivell personal, m'agrada aplicar els coneixements que adquireixo al meu dia a dia i la realització d'aquest TFG m'ha permès entrar dins del món de la domòtica i generar una proposta que podria ser aplicable al meu habitatge. La domòtica és un món que aporta múltiples opcions i que tot i ser complex es molt apassionant. El tema escollit m'ha agradat tant per la temàtica que m'ha permès entrar a fons en el món de la domòtica com per l'aplicabilitat de la proposta generada. Després d'haver realitzat el TFG estic mirant com puc realitzar una instal·lació domòtica al nostre habitatge les bases teòriques descrites al projecte.

9. Referencias i bibliografía

VERA, C., BARBOSA, J., PABÓN, D. Setembre 2017. La tecnología ZigBee estudio de las características de la capa física. [En línea] Disponible: <https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/9831/10581> [Últim accés: 29/12/2022]

AREITIO, J. Setembre 2011. Identificación, análisis y evaluación de la Seguridad en las comunicaciones con tecnología ZigBee. [En línea] Disponible: https://www.redeweb.com/_txt/682/114.pdf [Últim accés: 29/12/2022]

SETZ, B., GRAEF, S., DESISLAVA, I., TIESSEN, A., AIELLO, M. Diciembre 2021. A Comparison of Open-Source Home Automation Systems. [En línea] Disponible: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9652536> [Últim accés: 29/12/2022]

JARA, A. Introducción a la domótica viviendas inteligentes. [En línea] Disponible: https://www.um.es/documents/3239701/10859838/10introduccion_domotica_vivienda_inteligente.pdf/8f2b8f32-8378-47f7-8f02-8be2f1df8676 [Últim accés: 29/12/2022]

DESENCUFADO.NET. ¿Qué tipos de sistemas domóticos existen? [En línea] Disponible: <https://desenchufados.net/tipos-sistemas-domoticos/> [Últim accés: 29/12/2022]

ENERXIA.NET. Inst. Domóticas [En línea] Disponible: <https://www.enerxia.net/portal/index.php/i-domo/894-domotica-protocolos> [Últim accés: 29/12/2022]

UDEL.CL. Capítulo 3. Protocolos. [En línea] Disponible: <http://www2.udel.cl/~racuna/domotica/x10.htm> [Últim accés: 29/12/2022]

VENCO. Diciembre 2020. Qué es ZigBee, cómo funciona y características principales. [En línea]. Disponible: <https://www.vencoel.com/que-es-zigbee-como-funciona-y-caracteristicas-principales/> [Últim accés: 29/12/2022]

DOMOPRAC. Octubre 2009. El Protocolo de comunicaciones, el lenguaje de la domótica [En línea] Disponible: <https://domoprac.com/component/k2/item/264-el-protocolo-de-comunicaciones-el-lenguaje-de-la-domotica.html> [Últim accés: 29/12/2022]

DOMOTALIA. Noviembre 2019. Z-Wave: 9 características que lo hacen impresionante [En línea] Disponible: <https://www.domotalia.es/blog/2019/11/07/z-wave-9-caracteristicas-que-lo-hacen-impresionante/> [Últim accés: 29/12/2022]

ESCHOLARIUM. Home Assistant. [En línea] Disponible: https://escholarium.educarex.es/useruploads/r/c/152929/scorm_imported/98921685844429838534/home_assistant.html [Últim accés: 29/12/2022]

HOME ASSISTANT. Home Assistant. [En línea] Disponible: <https://www.home-assistant.io/> [Últim accés: 29/12/2022]

JEEDOM. Jeedom. [En línea] Disponible: <https://www.jeedom.com/en/index.html> [Últim accés: 29/12/2022]

DOMOTIZAR. ¿Qué es Jeedom? La solución Domótica de bajo presupuesto que todos buscan en 2019. [En línea] Disponible: <https://www.domotizar.com/que-es-jeedom/> [Últim accés: 29/12/2022]

OPENHAB. Openhab. [En línea] Disponible: <https://www.openhab.org/> [Últim accés: 29/12/2022]

SISTEMAS24H. Noviembre 2022. ¿Cuándo aparece la domótica?: Historia y evolución hasta hoy [En línea] Disponible: <https://sistemas24h.com/blog/cuando-aparece-domotica/> [Últim accés: 29/12/2022]

RICON DOMOTICA. Setembre 2021. Openhab, ¿la mejor plataforma domótica Open Source? [En línea] Disponible: <https://rincondomotica.com/openhab-la-mejor-plataforma-domotica-open-source> [Últim accés: 29/12/2022]

DOMÓTICA DOMÉSTICA. Abril 2014. Domoticz, software libre de control domótico para Raspberry Pi [En línea] Disponible: <http://www.domoticadomestica.com/domoticz-software-libre-control-domotico/> [Últim accés: 29/12/2022]

DOMONETIO. Abril 2022. Normativa para instalación de domótica [En línea] Disponible: <https://www.domonetio.com/blog/noticias-1/post/normativa-para-instalacion-de-domotica-3809> [Últim accés: 29/12/2022]

IOBROKER. Iobroker. [En línea] Disponible: <https://www.iobroker.net/#en/intro> [Últim accés: 29/12/2022]

DOMOTICZ. Domoticz. [En línea] Disponible: https://domoticz.com/Domoticz_es.html [Últim accés: 29/12/2022]

HOME ASSISTANT. Home Assistant community [En línea] <https://community.home-assistant.io/> [Últim accés: 29/12/2022]

SOLECTRO. Abril 2022. ¿Qué es MQTT? El protocolo de comunicación para IoT. [En línea] Disponible: <https://solectroshop.com/es/blog/que-es-mqtt-el-protocolo-de-comunicacion-para-iot-n117> [Últim accés: 29/12/2022]

ABIDOM. Funcionalidades domóticas más habituales. [En línea] Disponible:<https://abidom.com/funcionalidades-domoticas.php> [Últim accés: 29/12/2022]

INCIBE-CERT. Abril 2016. Seguridad en comunicaciones ZigBee. [En línea] Disponible: <https://www.incibe-cert.es/blog/seguridad-comunicaciones-zigbee> [Últim accés: 29/12/2022]

PROGRAMAR FACIL. Programar facil. [En línea] Disponible: <https://programarfacil.com/> [Últim accés: 29/12/2022]

Z-WAVE. Z-Wave. [En línea] Disponible: <https://zwave.es/> [Últim accés: 29/12/2022]

PROFESIONAL REVIEW. Noviembre 2017. ¿Cuáles son los principales protocolos Wifi? Todo lo que necesitas saber. [En línea] Disponible: <https://www.profesionalreview.com/2017/11/18/cuales-principales-protocolos-wifi/> [Últim accés: 29/12/2022]

LLAMAS, L. Febrer 2018. EMULAR RASPBERRY PI EN UNA MÁQUINA VIRTUAL CON VIRTUALBOX. [En línea] Disponible: <https://www.luisllamas.es/raspberry-pi-virtualbox/> [Últim accés: 29/12/2022]

VIQUIPÈDIA. Encaminador. [En línea] Disponible: <https://ca.wikipedia.org/wiki/Encaminador> [Últim accés: 29/12/2022]

DOMOS. Conbee II. [En línea] Disponible: <https://domos.org/zigbee/conbee-ii/> [Últim accés: 29/12/2022]

MQTT. Mqtt. [En línea] Disponible: <https://mqtt.org/> [Últim accés: 29/12/2022]

NABUCASA. Nabucasa. [En línea] Disponible: <https://www.nabucasa.com/> [Últim accés: 29/12/2022]

PHOSCON. Conbee II. [En línea] Disponible: <https://phoscon.de/en/conbee2> [Últim accés: 29/12/2022]

RODRÍGUEZ, S. Juny 2022. ¿Cómo funciona Bluetooth Low Energy (BLE)? [En línea] Disponible:<https://es.linkedin.com/pulse/c%C3%B3mo-funciona-bluetooth-low-energy->

ble-grupo-vida-ip?trk=pulse-article_more-articles_related-content-card [Últim accés: 29/12/2022]

TODOSMARTHOMES. Protocolos y tecnologías de comunicación inalámbrica en un sistema de domótica. [En línea] Disponible: <https://www.todosmarthome.com/protocolos-de-comunicacion-inalambrica-domotico/> [Últim accés: 29/12/2022]

INSTITUTO NACIONAL DE APRENDIZAJE. Guía para Domótica, control inteligente de iluminación. [En línea] Disponible: https://www.inapidte.ac.cr/pluginfile.php/52271/course/section/9224/PDF1.00_Gu%C3%ADa%20para%20%20Dom%C3%B3tica%2C%20control%20inteligente%20de%20iluminaci%C3%B3n.pdf [Últim accés: 29/12/2022]

PACIENCIA DIGITAL. Sensores robustos ante fallos. Es posible con el sistema domótico gratuito y el favorito de los expertos. [En línea] Disponible: <https://www.pacienciadigital.com/redundancia-sensores-home-assistant/> [Últim accés: 29/12/2022]

FERTRY.TECH. Juliol 2021. Acceso remoto a Home Assistant con DuckDNS y certificado SSL emitido por Let's Encrypt. [En línea] Disponible: <https://fertry.tech/posts/acceso-remoto-home-assistant-duck-dns-ssl-lets-encrypt/> [Últim accés: 29/12/2022]

10. Agraïments

En aquest apartat voldria expressar primer el meu agraïment el professor Eduard Marco Galindo per haver-me fet el seguiment del mateix.

També voldria agrair a tota la meva família i amics per sempre donar-me ànims i en especials els meus pares (En Pere i la Maria), la meva germana, l'Anna i, sobretot a la meva parella l'Esther i la nostra filla l'Èlia.

11. Annex 1

Per la realització del present estudi es parteix d'una instal·lació d'un habitatge de disseny propi. S'ha adoptat una possible configuració arquitectònica i constructiva molt simple, evidentment discutible, però en tot cas factible i per tant útil com a base d'estudi per aquest treball. Es tracta d'una casa aïllada d'uns 200 metres quadrats de 3 habitacions, 3 lavabos, cuina-menjador, garatge per 2 cotxes exterior, un jardí i una piscina exterior.

A continuació es mostra el plànol de la casa en la figura, Figura 44, on es poden veure les dimensions de l'habitatge. La unitat utilitzada en el plànol és cm.

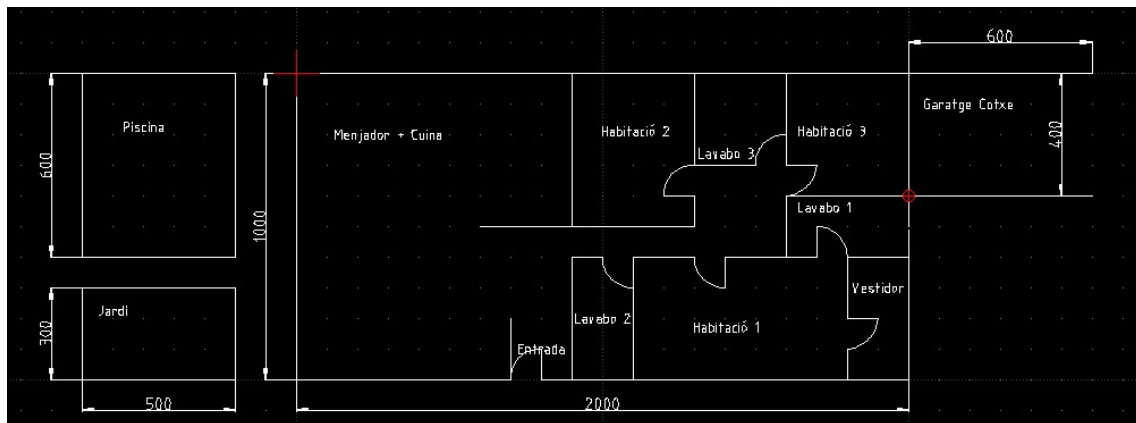


Figura 46. Plànol de la casa en que s'ha basat l'estudi