



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y
AUTOMATISMO

TEMA:

Red Wi-Fi para la comunicación entre agentes inteligentes de un
sistema domótico.

AUTOR:

Torres Romero, Gonzalo Fabián

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO ELECTRÓNICO EN CONTROL Y AUTOMATISMO

TUTOR:

M. Sc. Mendoza Merchán, Eduardo Vicente

Guayaquil, Ecuador

14 de septiembre del 2020



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y
AUTOMATISMO

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr. **Torres Romero, Gonzalo Fabián** como requerimiento para la obtención del título de **INGENIERO ELECTRÓNICO EN CONTROL Y AUTOMATISMO**.

TUTOR

M. Sc. Mendoza Merchán, Eduardo Vicente

DIRECTOR DE CARRERA

M. Sc. Heras Sánchez, Miguel Armando

Guayaquil, a los 14 días del mes de septiembre del año 2020



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y
AUTOMATISMO

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, Torres Romero, Gonzalo Fabián

DECLARÓ QUE:

El trabajo de titulación “**Red Wi-Fi para la comunicación entre agentes inteligentes de un sistema domótico**” previo a la obtención del Título de **Ingeniero Electrónico en Control y Automatismo**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 14 días del mes de septiembre del año 2020

TORRES ROMERO, GONZALO FABIÁN



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y
AUTOMATISMO

AUTORIZACIÓN

Yo, Torres Romero, Gonzalo Fabián

Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: “**Red Wi-Fi para la comunicación entre agentes inteligentes de un sistema domótico**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

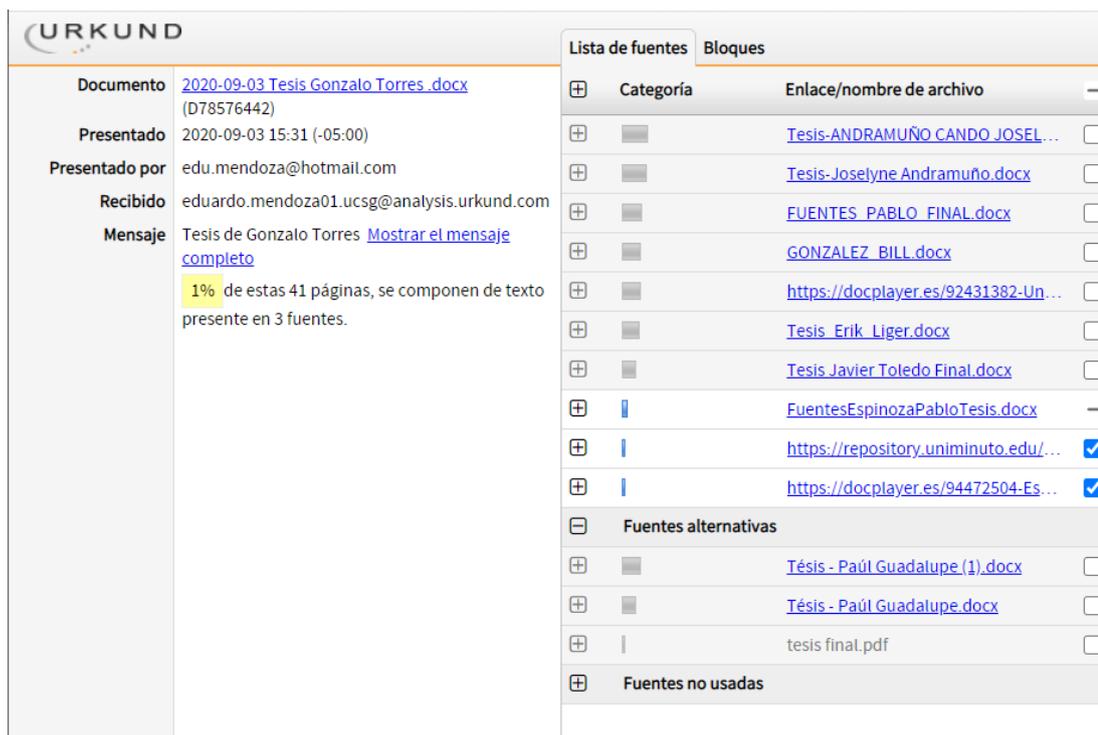
Guayaquil, a los 14 días del mes de septiembre del año 2020

TORRES ROMERO, GONZALO FABIÁN

REVISIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN CON PROGRAMA URKUND CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y AUTOMATISMO

TÍTULO: “Red Wi-Fi para la comunicación entre agentes inteligentes de un sistema domótico”

AUTOR: TORRES ROMERO GONZALO FABIAN



The screenshot displays the URKUND interface. On the left, a document analysis summary is shown:

- Documento:** [2020-09-03 Tesis Gonzalo Torres.docx](#) (D78576442)
- Presentado:** 2020-09-03 15:31 (-05:00)
- Presentado por:** edu.mendoza@hotmail.com
- Recibido:** eduardo.mendoza01.ucsg@analysis.arkund.com
- Mensaje:** Tesis de Gonzalo Torres [Mostrar el mensaje completo](#)
1% de estas 41 páginas, se componen de texto presente en 3 fuentes.

On the right, the 'Lista de fuentes' (List of sources) is displayed under the 'Bloques' tab:

+	Categoría	Enlace/nombre de archivo	-
+	■	Tesis-ANDRAMUÑO.CANDO.JOSEL...	<input type="checkbox"/>
+	■	Tesis-Joselyne Andramuño.docx	<input type="checkbox"/>
+	■	FUENTES_PABLO_FINAL.docx	<input type="checkbox"/>
+	■	GONZALEZ_BILL.docx	<input type="checkbox"/>
+	■	https://docplayer.es/92431382-Un...	<input type="checkbox"/>
+	■	Tesis_Erik_Liger.docx	<input type="checkbox"/>
+	■	Tesis Javier Toledo Final.docx	<input type="checkbox"/>
+		FuentesEspinozaPabloTesis.docx	-
+		https://repository.uniminuto.edu/...	<input checked="" type="checkbox"/>
+		https://docplayer.es/94472504-Es...	<input checked="" type="checkbox"/>
-	Fuentes alternativas		
+	■	Tesis - Paúl Guadalupe (1).docx	<input type="checkbox"/>
+	■	Tesis - Paúl Guadalupe.docx	<input type="checkbox"/>
+		tesis final.pdf	<input type="checkbox"/>
+	Fuentes no usadas		

Después de analizar el resultado enviado por el programa Urkund, se determinó que el trabajo de titulación del estudiante: **TORRES ROMERO GONZALO FABIAN**, observa un porcentaje inferior al 4% de coincidencias con otros documentos encontrados en el internet.



.....
Ing. Eduardo Mendoza Merchán, Mgs
DOCENTE TUTOR

DEDICATORIA

Este trabajo es dedicado para mis padres Favián y Emilia, ellos son quienes a lo largo de mi vida estudiantil me han apoyado en cada una de mis etapas y decisiones, gracias a los sabios consejos que me brindaron y los valores que me inculcaron desde casa.

Todo lo logrado es gracias a ustedes, los quiero mucho. Gracias por ser unos buenos padres.

Gonzalo Fabián Torres

EL AUTOR

TORRES ROMERO, GONZALO FABIÁN

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la vida y guiarme hasta alcanzar mis metas propuestas. Gracias a mis padres Favián y Emilia que estuvieron siempre apoyándome en toda mi etapa universitaria, a mis hermanas que desde lejos me apoyaron y estuvieron conmigo siempre que necesitaba. A mi abuelita Ma. Elena que siempre me apoya en mis proyectos y decisiones. A mis abuelitos maternos que desde lejos me enviaban su apoyo. A mis tíos, tías, primos, primas y demás familiares que estuvieron brindando su apoyo en todo momento.

Gracias a mis compañeros y amigos de curso, con ellos fue quien compartí grandes momentos en las aulas de clase, gracias por su apoyo y compañerismo dentro y fuera de la universidad.

Agradezco a mi tutor de trabajo de investigación M. Sc. Eduardo Mendoza quien me guio y proporciono sus conocimientos para elaborar mi tesis de grado. También agradezco a los docentes de la Facultad Técnica para el Desarrollo de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, quienes fueron los que me otorgaron sus conocimientos en las aulas de clases. Gracias a todos los recordare siempre.

EL AUTOR

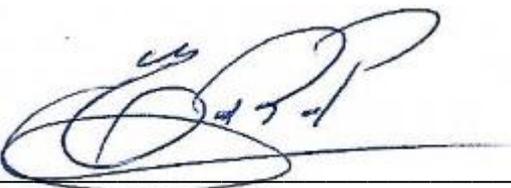
TORRES ROMERO, GONZALO FABIÁN



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y
AUTOMATISMO

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. 

**M. Sc. ROMERO PAZ, MANUEL DE JESUS
DECANO**

f. 

**M. Sc. PALACIOS MELÉNDEZ, EDWIN FERNANDO
COORDINADOR DEL ÁREA**

f. 

**M. Sc. CORDOVA RIVADENEIRA, LUIS SILVIO
OPONENTE**

Índice General

Índice de Figuras	XIV
Índice de Tablas	XVI
Resumen	XVII
Abstract	XVIII
Introducción	2
Capítulo 1: Descripción General.....	4
1.1. Planteamiento del problema.....	4
1.2. Justificación	5
1.3. Delimitación	6
1.4. Objetivos	6
1.4.1. Objetivo General	6
1.4.2. Objetivos Específicos	6
1.5. Hipótesis	7
1.6. Metodología de Investigación	7
Capítulo 2: Marco Teórico.....	9
2.1. Estado del arte.....	9
2.2. Sistemas multi-agentes	14
2.2.1 Agentes inteligentes.....	14
2.2.2 Propiedades de los agentes inteligentes	15
2.2.3 Caracterización de los agentes	15
2.2.4 Propiedades de los agentes	15
2.2.5 Relación de los sistemas multi-agentes frente a Resolución Distribuida de Problemas (RDP).	16
2.2.6 Sistemas multi-agentes.....	18
2.2.6.1 Interacción en los SMA	18
2.2.6.2 Comunicación de los SMA.....	19
2.3. Redes de sensores inalámbricos.....	21

2.3.1.	Definición WSN	21
2.3.2.	Protocolos y métodos de transmisión de datos.....	22
2.3.2.1.	Bluetooth	22
2.3.2.2.	Wi-Fi	22
2.3.2.2.1.	Arquitectura de Red	23
2.3.2.2.2.	Enlace de radio en IEEE802.11.....	23
2.3.2.2.3	Estándar 802.11-ac	24
2.3.2.3.	Estándar IEEE 802.15.4	25
2.3.2.4.	ZigBee.....	26
2.3.2.5.	WirelessHART	26
2.4.	Sistemas domóticos	26
2.4.1.	Domótica	27
2.4.2.	Hogar digital.....	27
2.4.3.	Servicios de un sistema domótico.....	28
2.5.	Lenguaje unificado de modelado: UML.....	29
2.5.1.	Definición de UML	29
2.5.2.	Diagramas de UML	30
2.5.2.1.	Diagrama de clases	30
2.5.2.2.	Diagrama de casos de uso	30
2.5.2.3.	Diagrama de estados	31
2.5.2.4.	Diagrama de secuencias.....	31
2.6.	Microcontroladores.....	33
2.6.1.	Arquitectura interna	33
2.6.2.	ESP8266	34
2.6.2.1.	Características generales del ESP8266.....	34
2.6.3.	Aplicaciones	35
2.7.	Arquitecturas de comunicación.....	36
2.7.1.	Arquitecturas de control.....	36

2.7.1.1. Arquitectura de control centralizada	36
2.7.1.2. Arquitectura de control distribuida.....	37
2.7.1.3. Arquitectura hibrida o mixta.....	37
2.7.2. Arquitectura de red	37
2.7.2.1. Red en estrella	38
2.7.2.2. Red en anillo	38
2.7.2.3. Red en bus	39
Capítulo 3: Diseño de la red inalámbrica	40
3.1. Consideraciones de diseño iniciales.....	40
3.1.1. Descripción del sistema.....	40
3.1.2. Características del sistema	42
3.1.3 Funciones del sistema	42
3.2. Arquitectura del sistema doméstico	43
3.2.1. Arquitectura doméstica	43
3.2.1.1. Sistema de almacenamiento.....	44
3.2.1.2. Confortabilidad	44
3.2.1.3. Ahorro de Energía	45
3.2.1.4. Seguridad Técnica.....	45
3.2.1.5. Seguridad Personal	45
3.2.1.6. Salud.....	45
3.2.2. Arquitectura de control doméstico	45
3.2.3. Arquitectura de la red doméstica.....	46
3.3. Análisis de los nodos de Red.....	48
3.3.1. Nodo padre.....	48
3.3.1.1. Funciones del nodo padre	48
3.3.1.2. Arquitectura del nodo padre	48
3.3.2. Gestión de la información de la red	49
3.3.2.1. Comunicación Wi-Fi entre nodos.....	49

3.3.2.2. Protocolo de comunicación.....	50
3.3.2.3. Tramas de comunicación	51
3.4. Modelado de la red inalámbrica	52
3.4.1. Consideraciones iniciales para el modelado en UML	52
3.4.2. Diagramas de casos de uso	52
3.4.3. Diagrama de secuencia.....	55
3.4.4. Diagrama de estados	57
3.5. Implementación del sistema	59
3.5.1. Diseño del firmware para el Nodo de almacenamiento.....	59
3.5.2. Diseño del firmware para los Nodos padre de control.....	63
3.5.3. Diseño de la interfaz de técnico/usuario	68
3.6. Pruebas de funcionamiento del sistema.....	70
3.6.1. Pruebas de precisión en la comunicación (pedidas de paquetes de datos).....	70
3.6.2. Tiempo de respuesta de la comunicación	72
3.6.3. Pruebas de cobertura.....	73
CAPITULO IV PRESENTACION Y DISCUSION DE RESULTADOS	75
4.1 Presentación de resultados	75
4.1.1 Resultados del estado de arte.....	75
4.1.2 Resultados de la arquitectura	75
4.1.3 Resultados del modelado UML	76
4.1.4 Resultado de la implementación.....	76
4.1.5 Resultados de las pruebas de experimentación.....	77
4.2. Discusión de resultados.....	77
4.2.1. Cumplimiento de las funciones del sistema	77
4.2.2. Cumplimiento de los Objetivos	78
4.2.2.1 Cumplimiento del objetivo general	78
4.2.2.2 Cumplimiento de objetivos específicos	78

4.2.3. Hipótesis	79
4.2.4 Problema de investigación	79
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	80
5.1. CONCLUSIONES	80
5.2. RECOMENDACIONES.....	81
5.3. Trabajo futuro.....	81
Bibliografía	82

Índice de Figuras

Capítulo 2

Figura 2.1: Interacción de los agentes con el entorno a través de S/A	14
Figura 2.2: Tipos de agentes según sus propiedades	16
Figura 2.3: Estructura típica de un sistema multi-agente	19
Figura 2.4: Capacidad de datos de transferencia del estándar 802.11	25
Figura 2.5: Infraestructura tecnología de un Hogar Digital.....	28
Figura 2.6: Diagrama de clase “UML”	30
Figura 2.7: Representación del diagrama de casos de uso “UML”	31
Figura 2.8: Diagrama de estados “UML”	31
Figura 2.9: Esquema de un diagrama de secuencia “UML”	32
Figura 2.10: Arquitectura de Von Neumann.....	33
Figura 2.11: Arquitectura de Harvard.....	34
Figura 2.12: Sistema centralizado mediante centrales domóticas	36
Figura 2.13: Estructura básica de control distribuida	37
Figura 2.14: Estructura de red en estrella	38
Figura 2.15: Estructura de red en anillo	38
Figura 2.16: Estructura de red en bus.....	39

Capítulo 3

Figura 3.1: Diagrama de flujo general del sistema.....	41
Figura 3.2: Estructura de la arquitectura domótica	44
Figura 3.3: Arquitectura de control domótico	46
Figura 3.4: Arquitectura de red de comunicación domótica	47
Figura 3.5: Arquitectura del microcontrolador ESP8266	49
Figura 3.6: Enlace de comunicación NP almacenamiento - NP de control ..	50
Figura 3.7: Diagrama de casos de uso del Sistema General.....	53
Figura 3.8: Diagrama de casos de uso del Agente de Almacenamiento.....	54
Figura 3.9: Diagrama de casos de uso del Agente de Control.....	55
Figura 3.10: Diagrama de secuencia general del sistema	57
Figura 3.11: Diagrama de estados general del sistema.....	59
Figura 3.12: Diagrama de flujo del funcionamiento del nodo padre.....	60
Figura 3.13: Diagrama de flujo de solicitud procesos NP almacenamiento .	61
Figura 3.14: Circuito esquemático “Implementación NP almacenamiento”..	62

Figura 3.15: Prototipo del agente de almacenamiento.....	63
Figura 3.16: Diagrama de flujo de funcionamiento del nodo de control	64
Figura 3.17: Diagrama de flujo de solicitud de procesos NP control.....	65
Figura 3.18: Circuito esquemático “Implementación NP de control”	66
Figura 3.19: Agentes de control del sistema domótico	67
Figura 3.20: Agente de confortabilidad	68
Figura 3.21: Diagrama de flujo de interfaz de técnico/usuario	69
Figura 3.22: Interfaz de técnico/usuario.....	70
Figura 3.23: Estadística de SLperdidos vs. SLenviados	72

Índice de Tablas

Capítulo 2

Tabla 2.1: Diferencias entre los SMA y una RDP 17

Tabla 2.2: Especificaciones técnicas del ESP8266 35

Capítulo 3

Tabla 3.1: Formato de trama de comunicación..... 51

Tabla 3.2: Contenido específico del proveedor..... 51

Tabla 3.3: Tiempo de emisión/recepción de datos..... 73

Tabla 3.4: Estadística de pruebas de distancia entre NP 74

Resumen

En el presente trabajo de investigación se realiza un estudio sobre el diseño de una red de comunicación inalámbrica para agentes inteligentes, utilizando microcontroladores de 32 bits con conectividad Wi-Fi, aplicada a los sistemas domóticos para obtener una comunicación eficiente entre los agentes inteligentes de control, utilizando componentes de bajo costo. Para el desarrollo de la red de control se emplea una arquitectura distribuida jerárquica entre sus nodos, y el modelado se lo realiza utilizando diagramas UML, que describen el comportamiento del sistema y comprender el funcionamiento de la red de comunicación. La implementación de este sistema permite comprobar las funciones definidas y obtener resultados de eficiencia en las diferentes pruebas experimentales. Con la ayuda de las herramientas de diseño, modelado UML, desarrollo e implementación de esta red, se puede comprobar que la red de comunicación inalámbrica es estable, tiene cobertura suficiente para abarcar una vivienda unifamiliar, y una precisión en el envío/recepción de información superior al 95%, obteniendo resultados muy favorables en el desempeño del modelo de red propuesto.

Palabras Claves: AGENTES INTELIGENTES, ARQUITECTURA DISTRIBUIDA, UML, DOMÓTICA, COMUNICACIÓN INALÁMBRICA, WIFI.

Abstract

In this research work, a study is carried out on the design of a wireless communication network for intelligent agents, using 32-bit microcontrollers with Wi-Fi connectivity, applied to home automation systems to obtain efficient communication between intelligent control agents. , using low-cost components. For the development of the control network, a hierarchical distributed architecture is used between its nodes, and the modeling is done using UML diagrams, which describe the behavior of the system and understand the operation of the communication network. The implementation of this system allows checking the defined functions and obtaining efficiency results in the different experimental tests. With the help of design tools, UML modeling, development and implementation of this network, it can be verified that the wireless communication network is stable, has sufficient coverage to cover a single-family home, and an accuracy in sending / receiving information. higher than 95%, obtaining very favorable results in the performance of the proposed network model.

Keywords: INTELIGENT AGENT, DISTRIBUTED ARCHITECTURE, UML, HOME AUTOMATION, WIRELESS COMMUNICATION.

Introducción

A través de este proyecto se pretende obtener un modelo de red Wi-Fi para la comunicación entre agentes inteligentes en un sistema domótico, que sea eficaz en la transmisión de datos y con un valor en el mercado de bajo costo, ya que este es un factor principal por el cual no todas las familias implementan estos sistemas en sus domicilios. En efecto, a lo mencionado anteriormente, en este trabajo se presenta el desarrollo de una red Wi-Fi enfocada para la comunicación inalámbrica entre agentes inteligentes en una vivienda, que comparte algunas características de ciertas redes ya existentes en el mercado, pero con la diferencia de elaborarla con materiales de menor costo, esto conlleva a un mayor estudio en el desarrollo de protocolos de red y estos sean de acuerdo a las necesidades propuestas de obtener una red con una comunicación eficiente y no tener el riesgo de la pérdida de datos en toda nuestra red.

En trabajo de Mendoza et al., (2020), propone la comunicación de agentes inteligentes tipo nodo padre y nodo hijo, y la comunicación entre ellos, al formar una red domótica inalámbrica. El estudio y desarrollo de redes de comunicación Wi-Fi entre agentes inteligente, es de gran importancia académico, porque aporta el desarrollo de las comunicaciones inalámbricas. Obteniendo conocimientos necesarios para su correcto funcionamiento, con la finalidad de adaptarlos a diferentes entornos arquitectónicos y los costos de implementación bajo. Para el desarrollo se utilizó arquitecturas distribuidas jerárquicamente, modelamiento UML e implementación de la red de comunicación para obtener resultados experimentales.

El objetivo principal de este trabajo es estudiar una red de comunicación inalámbrica para la comunicación entre agentes inteligentes aplicada a un sistema domótico utilizando módulos Wi-Fi. Para ello se propone una arquitectura multi-agente aplicable a sistemas inteligentes distribuidos. La arquitectura propuesta ha sido descrita a través del lenguaje de Modelado Unificado (UML del inglés, Unified Modeling Language), que ha logrado pasar de la proyección al diseño de una forma sistemática y transparente,

permitiendo definir adecuadamente todas las instancias del sistema. Los diagramas de flujo son utilizados con frecuencia como paso previo a la implementación del sistema. La implementación del sistema permite verificar que se cumplan los objetivos de estudio planteados, obteniendo resultados eficientes en la comunicación, que finalmente permiten verificar y validar los requisitos funcionales del sistema. El comportamiento del sistema, según las pruebas experimentales, ha cumplido con las características y funciones planteadas al inicio de este trabajo permitiendo una suficiente cobertura y una mínima pérdida de datos.

Capítulo 1: Descripción General

1.1. Planteamiento del problema

Los agentes inteligentes son entidades que tienen ciertas características de autonomía, socialización, negociación, comunicación entre otras, que les permiten interactuar entre ellos formando lo que se denomina sistema multi-agente. Su aplicación en sistemas embebidos o microcontroladores, no se ha encontrado referencias suficientes en la literatura científica que traten el problema a detalle, sobre todo, en lo relacionado a sus arquitecturas y comunicaciones. En la actualidad se han realizado estudios e investigaciones sobre redes de comunicaciones inalámbricas de bajo costo para sensores, estableciendo una configuración basada en microcontroladores de 32 bits y módulos de comunicación de bajo costo (Mendoza et al., 2020). Otros trabajos orientados a las redes de sensores inalámbricos (WSN) y comunicaciones de línea de alimentación (PLC) también aplicadas al control de una red inteligente en una vivienda, estableció colocar en cada sala un WSN aislado de la estación de administración mediante PLC, transfiriendo los datos directamente al PLC en vez de WSN, logrando que las redes Wi-Fi y los WSN operen juntos en la misma banda frecuencia pero podrían ocasionar interferencias dando por perdidos paquetes en WSN (Li & Lin, 2015).

Las aplicaciones de agentes inteligentes, dada sus características de autonomía y colaboración, ofrecen diversidad de aplicaciones en diferentes campos del quehacer humano, especialmente en los sistemas domóticos. Pero, no se tiene claro, como los contenidos teóricos existentes, deben de ser aplicados e implementados en microcontroladores u otros dispositivos de procesamiento. La literatura científica de agentes inteligentes, tiene importantes avances en su diseño e implemento en procesadores grandes, pero no, en dispositivos pequeños, los cuales disponen de una capacidad de procesamiento y recursos muy limitados, en relación a un computador. En virtud de lo analizado en estos párrafos, se considera que hay un vacío científico en el tema analizado, por lo que se considera necesario indagar en

los aspectos señalados a fin de obtener resultados que orienten al uso de agentes inteligentes en microcontroladores. En el sentido se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿Es posible implementar una comunicación eficiente entre agentes inteligentes de control en un sistema domótico, alojados en sistemas embebidos, utilizando módulos Wi-Fi de bajo costo?

1.2. Justificación

Los grandes estudios en redes de comunicación inalámbrica para la comunicación entre agentes inteligentes, han sido imprescindibles y en gran número, logrando obtener grandes beneficios en los campos empleados. Los puntos con mayor importancia han sido obtener una mejor monitorización, control y toma de decisiones automáticas en las variables predeterminadas a manipular, pero con un coste de fabricación elevado. Los costos elevados del producto final vienen desde los materiales fundamentales para la elaboración del mismo, si se utilizan materiales de bajo costo y buena calidad, se obtendrá un producto final de buena calidad y bajo costo. Logrando así que estas redes de comunicación inalámbrica sean accesibles a diversos usuarios y/o sectores beneficiándose de esta tecnología.

El estudio y desarrollo de redes Wi-Fi para comunicación de agentes inteligentes, es de gran valor académico, porque es un tema que aporta el desarrollo de las comunicaciones inalámbricas en los diferentes sectores que se los desee aplicar, logrando obtener conocimientos necesarios para su correcto funcionamiento, utilizando nuevas tecnologías y adaptándolas a nuestro sistema de bajo costo de implementación.

Este sistema pretende reducir el problema que existe al adquirir estos sistemas de alto costo, adaptando los protocolos de comunicación hacia materiales de bajo costo y buena calidad. Logrando establecer una red con una cobertura óptima para una vivienda unifamiliar, y el mismo, sea eficaz en la transmisión de datos, logrando que la pérdida de información sea mínima y que los costos del sistema sean accesibles para todos los usuarios.

1.3. Delimitación

El siguiente trabajo tendrá énfasis de investigación en el área de automatización, comunicación y domótica. Su propósito es desarrollar un prototipo de red Wi-Fi para la comunicación de agentes inteligentes de al menos seis nodos que puedan interactuar entre ellos a distancias cortas (10 metros). El prototipo servirá para el estudio del comportamiento del sistema, la eficiencia de protocolos y evaluar las metodologías empleadas. El mismo que será estudiado en el campo para el cual fue desarrollado, una vivienda tipo departamento.

Debido a la implementación de esta red Wi-Fi con componentes de bajo costo, se requiere una configuración óptima que permita eficazmente la transmisión de datos, evitando las pérdidas de datos. El prototipo será montado en placas protoboard elaboradas de forma didáctica, que permita su uso para el aprendizaje y el estudio de redes de sensores inalámbricos, en laboratorio. No se realizarán pruebas en viviendas prototipo, debido a la situación generada por la pandemia, y al escaso tiempo que se dispone para el desarrollo de este trabajo.

1.4. Objetivos

A continuación, se presenta el objetivo general de trabajo de titulación, seguido de los objetivos específicos que se determinaron para la investigación.

1.4.1. Objetivo General

Estudiar una red inalámbrica para la comunicación entre agentes inteligentes de control, para un sistema domótico, basada en módulos de comunicación Wi-Fi.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Proponer una arquitectura multi-agente aplicable a sistemas domóticos inteligentes distribuidos.
- Diseñar una red inalámbrica adaptable a un sistema domótico para viviendas unifamiliares, utilizando módulos de comunicación Wi-Fi.

- Evaluar el diseño de una red inalámbrica a través de pruebas experimentales que permitan determinar el desempeño del sistema.

1.5. Hipótesis

Con el desarrollo e implementación de este prototipo se estima lograr una red con componentes de bajo costo y mayor rendimiento, la misma que cuente con una eficiencia óptima y logre cubrir el mayor porcentaje de datos enviados correctamente sin tener pérdida en los paquetes de datos. En caso de llegar a obtener estos resultados, el mismo se puede implementar fácilmente a mayor número de variables por controlar o inclusive implementarlo en diferentes campos determinados.

“El uso de componentes Wi-Fi de bajo costo permitirá desarrollar una red inalámbrica para agentes inteligentes, que logre una cobertura de hasta 10 metros con obstáculos entre los nodos con una pérdida de datos no mayor al 5%”

1.6. Metodología de Investigación

En el presente trabajo se realiza una investigación de tipo correlacional debido a que se requiere determinar la eficiencia, estabilidad y rendimiento de la red en relación a las variables a controlar que existen en la red. Utilizando métodos bibliográficos, trabajos anteriores referentes al tema, protocolos y metodologías ya existentes en la actualidad. El enfoque de esta investigación es de tipo cuantitativo porque se requiere la elaboración de prototipos y metodologías para la red, para lo cual se han empleado ciertos experimentos que permitan determinar y cuantificar el comportamiento completo del sistema.

Los métodos utilizados para desarrollo del presente trabajo de investigación son: simulación, experimental y analítico. La simulación permite la configuración y programación de los protocolos de la red, buscando diversas formas de la realizar la misma, obteniendo errores y corregir los mismo. El método análisis y síntesis, consiste en separar sus partes fundamentales para conocer sus elementos y sus relaciones, la

síntesis se refiere a la composición de todos los elementos es decir ambos métodos van de la mano. El método experimental permitirá manipular y controlar las variables investigadas, obteniendo nuevos conocimientos y mejorando los mismos.

Para cumplir con los objetivos de esta investigación, se realizarán las siguientes tareas de investigación:

- Búsqueda bibliográfica de trabajos y artículos científicos realizados previamente.
- Determinar el sitio donde se pretende realizar las pruebas de la red.
- Diseñar una red Wi-Fi utilizando el microcontrolador ESP8266
- Calculo de costos para obtener una red con materiales de bajo costo y esta funcione correctamente.
- Establecer protocolos de red para la comunicación entre los agentes inteligentes.
- Programación de la red y cada uno de sus componentes.
- Realizar pruebas de comunicación y correcto funcionamiento de la misma.
- Corrección de errores y obtener mejoras a partir de pruebas anteriores.
- Analizar resultados obtenidos de las pruebas realizadas anteriormente, considerando las variables involucradas y el entorno donde se han desarrollado las pruebas.
- Realizar estudios estadísticos de las pruebas realizadas anteriormente, que permitan realizar una comparativa con otros trabajos.

Capítulo 2: Marco Teórico

En presente capítulo inicia con el estado del arte de las redes de sensores inalámbrico, a fin de determinar los aportes y desafíos que existen actualmente, alrededor del tema investigado. Se han incluido en el marco teórico cuatro temas adicionales, que se considera fundamentales para el desarrollo del trabajo presentado y que sientan las bases de lo que se propone en el marco de este trabajo de titulación.

2.1. Estado del arte

Se ha elaborado un resumen de trabajos de investigación relacionados con el tema de este trabajo titulación, que han sido considerados por su actualidad y su novedosa aportación, a fin de que constituyan una base sólida para esta investigación. Las redes de sensores inalámbricos trabajan en un campo muy extenso de operatividad y dispondrán muchos desafíos aún pendientes, enfocados al progreso de comunicación de la electrónica digital, ancho de banda, disminución de costos de fabricación, amplitud de procesamiento y cobertura de red. Estas redes también permiten ejecutar acciones de control directo sobre las variables, analizar su entorno y configurar ciertos parámetros que necesitemos observar. En los siguientes párrafos se ha realizado un corto resumen de los estudios más destacados para esta investigación de redes entre agentes inteligentes.

En la investigación de Mendoza et al., (2020) se presenta una red para el control eficaz de diferentes agentes inteligentes. Las redes para sensores inalámbricos tienen una gran variedad de aplicaciones y diferentes métodos de comunicación entre ellos obteniendo diferentes resultados, positivos y negativos en la obtención de datos. Por ende, se propone crear una red con una configuración basada en microcontroladores de 32 bits y módulos de comunicación de bajo costo, obteniendo así una reducida pérdida de datos, mejoramiento de la capacidad de proceso y adaptación entre los nodos padres con los nodos hijos. Para el estudio de esta red se consideró las siguientes métricas: tiempo de respuesta, cobertura de red, escalabilidad y

precisión; se utilizó el protocolo de enrutamiento AODV para aumentar la cobertura de la red WSN en los hogares. Los resultados determinaron una compatibilidad exitosa utilizando el protocolo multisalto AODV, proporcionando una cobertura capaz de cubrir una vivienda unifamiliar, logrando una velocidad de transmisión de 250Kbps, garantizando la seguridad e integridad de todos los datos de las variables.

Según Triviño (2018) en el trabajo de investigación se refiere a agentes inteligentes que poseen la capacidad de interactuar de forma autónoma y racional, asemejándose a la inteligencia humana. Estos sistemas multiagentes inteligentes (M.A.S) son utilizados en gran parte en el campo de la informática, de la misma manera se desea adaptar esta tecnología de inteligencia artificial en áreas como procesos de automatización, sistemas domóticos, inmóticos, industriales, entre otros. Para esto se requirió estudiar la arquitectura de un sistema multiagente distribuido mediante el modelado con diagramación UML y lógica difusa, también se hizo un análisis comparativo entre las metodologías más utilizadas para el desarrollo de agentes inteligentes y se escogió usar MaSE, porque esta permite realizar un análisis más específico del sistema y de cada uno de los agentes. Se realizó un modelado del sistema utilizando AgentTool y luego se simuló el sistema utilizando lógica difusa a través de Matlab y Simulink, permitiendo verificar su correcto funcionamiento. Comprobando así que el uso de agentes inteligentes brinda mayor autonomía a los diferentes tipos de sistemas en que se aplique, logrando que este funcione de forma automática, eficiente y admitir cualquier ajuste o cambio que pueda producirse en su entorno.

En el artículo desarrollado por Li & Lin (2015) se refiere a las redes de sensores inalámbricos (WSN) y comunicaciones de línea de alimentación (PLC) aplicadas para la implementación de una red de control inteligente en una vivienda. Deseando una reducción del impacto de interferencia inalámbrica en una red de control de viviendas inteligentes y su consumo innecesario de energía de las mismas. Por ello se estableció en cada sala un WSN aislado a la estación de administración mediante PLC, los mensajes se

transfieren directamente el PLC en vez de WSN, también se mostró un algoritmo de control inteligente para sistemas de iluminación y un estudio de iluminación de una lámpara fluorescente, cabe recalcar para ello considerar la aportación de la luz natural. Los estudios demostraron que las redes Wi-Fi y los WSN pueden operar juntos incluso en la misma banda frecuencia, pero podrían producirse interferencias inalámbricas y ocasionando pérdidas de paquetes en WSN. Para resolver este inconveniente el WSN se integra con la tecnología PLC y lograr obtener una red control inteligente en las viviendas. Según los resultados numéricos este sistema de control inteligente puede reducir al menos un 40% el consumo de energía y dan por hecho que este es factible y funciona correctamente.

En el estudio realizado por Palanca et al., (2016) hacen referencia a una arquitectura de diseño y desarrollo de un entorno inteligente para una vivienda, autoadaptable y orientado a objetivos específicos. Esperando que los usuarios logren interactuar con el sistema manifestando sus objetivos, esto es ideal para ambientes donde la inteligencia ambiental y el control automático sean para el bienestar del usuario. Se ejecutó una arquitectura enfocada a los objetivos para ambientes de viviendas inteligentes que es capaz de contribuir con todas las órdenes de los usuarios, en estos campos existen muchos nodos interconectados donde los proveedores prometen un sinnúmero de servicios. Diseñando este prototipo basado en la arquitectura seleccionada los resultados indicaron que esta propuesta para la interacción humano-agente obtuvo un aumento de número y calidad de los objetivos logrados por el usuario.

En el trabajo investigativo por Muñoz (2020) se refiere principalmente al internet de las cosas (IoT), ya que en la actualidad los usuarios desean tener el control de diversos dispositivos a través del internet. Por ello el internet de las cosas ha ido evolucionando a una velocidad exponencial con el fin de que todos los dispositivos estén conectados entre ellos y puedan intercambiar información entre ellos, con el usuario y así realizar una tarea correcta. Para el estudio de este se implementó un prototipo de un sistema domótico real que haga uso de esta tecnología, basada con el microchip Wi-

Fi (ESP8266). También se realizó una comparativa entre dos topologías: mesh y estrella, combinadas con dos protocolos: MQTT y TCP. Logrando así un sistema domótico que ayude a detectar si existen anomalías con el comportamiento del inquilino, siendo así que este cumpla el objetivo de proporcionar ayuda, si este lo necesitara.

En el artículo publicado por Díaz & Álvarez (2014) se habla sobre el desarrollo de protocolos de aplicación de control domóticos, ya que un gran problema para el desarrollo de estos ha sido el desconocimiento de métodos de descripción formal y verificación de protocolos de red, estos son de gran importancia porque ayudan a la corrección, robustez y rendimiento al protocolo que se quiere aplicar. Para esto se ha desarrollado un método para la definición y verificación de protocolos para aplicación de control domótico, este se fundamenta en mecanismos de descripción formal disponibles, herramientas de verificación, validación y simulación bajo una licencia libre. También se utilizó herramientas como Cinderella SDL para modelado visual, Telelogic TAU para el diseño e implementación de software, SPN para verificación de software, SPIN para comprobar la consistencia lógica, y todo esto a partir del lenguaje PROMELA. Teniendo así una herramienta eficiente de trabajo en la ingeniería de protocolos, logrando una línea organizada, eficientes métodos de definición, modelación y simulación.

En el trabajo investigativo realizado por Liger (2018) se enfoca en el análisis de las actividades de control de carga e iluminación en el área domótica, debido a la necesidad de poder conocer sobre la potencia consumida y control de la iluminación de lámparas led en una vivienda. Esto se logró con el uso de sistemas embebidos en microcontroladores, diseñando y automatizando el proceso de control de cargas e iluminación, todos estos datos son visualizados y almacenados mediante una interfaz diseñada en App inventor, los datos se comunican de forma inalámbrica mediante los módulos NRF2401L y HC05. El uso de estos microcontroladores resulta de gran versatilidad, eficientes y económicos, dando como resultado tener visualización de las variables que podrían

afectar la vivienda y tener el control de estas, también controlar la iluminación de lámparas led con ayuda de sensores y actuadores (S/A) de bajo costo.

En el artículo publicado por Pau & Salerno (2019) se refiere al ahorro de energía que podemos tener aplicado en las redes de sensores inalámbricos inteligentes, utilizando una solución difusa. Los sensores recopilan la información y lo transmiten hacia un receptor, que interactúan con un servidor u ordenador, los nodos de un WSN comúnmente funcionan con baterías y con un procesador de bajo rendimiento para reducir su consumo de energía. La lógica difusa puede realizar asentamientos en tiempo real inclusive con información incompleta, examinando rápidamente normas lingüísticas, para ser aplicables en números escenarios como en el empleo en WSN, junto con los FLC pueden ser la opción adecuada para ahorrar energía y alargar la vida útil de la red. Aplicando estas soluciones se logra obtener un sistema que preserva la duración de la batería de los nodos WSN, dándole una larga vida útil a la misma y producir una red de detección activa.

En el artículo publicado por Tosi et al., (2019) se refiere a una red manejada por el sensor BLE para rastrear el movimiento de personas, proponiendo una metodología estándar para analizar y caracterizar el rendimiento del sensor en las aplicaciones de red, ya que estas requieren de un alto rendimiento como el área del cuerpo (BAN) para lograr monitorear el movimiento de las personas, utilizando unidades de sensor magneto-inercial (M-IPU). Teniendo en cuenta que BLE se puede utilizar para transmitir exitosamente los datos M-IMU desde 5 nodos periféricos con frecuencia de muestreo superior a 200Hz. Logrando diseñar un BAN de M-IMUs para seguimiento con un bajo costo, bajo consumo de energía y una versátil tecnología (BLE).

2.2. Sistemas multi-agentes

Los sistemas multi-agentes constituyen un dominio de la inteligencia artificial distribuida que puede ser utilizado para resolver problemas complicados o muy difíciles de resolver con otros técnicos de control o agentes inteligentes individuales. Su aplicación en el ámbito de la domótica es novedosa, y aun dispone de muchos desafíos pendientes en esta área. A continuación, se resumen las principales características de esta técnica.

2.2.1 Agentes inteligentes

Según Russell & Norvig (2008) un agente es capaz de distinguir su medioambiente con el apoyo de sensores y ejecutar alguna orden utilizando actuadores, a diferencia de un agente humano posee ojos, oídos y otros sentidos. El agente robot obtiene pulsaciones del teclado, registro de información, paquetes vía red a modo de entradas sensoriales y ejecuta mediante el medio con avisos en el monitor, escribiendo ficheros y remitiendo paquetes en la red. Por lo tanto, cada agente tiene la capacidad de distinguir sus propias acciones, pero no siempre sus efectos. En la figura 2.1 se muestra el orden de interacción de los agente con el su entorno por medio de sensores y actuadores (S/A).

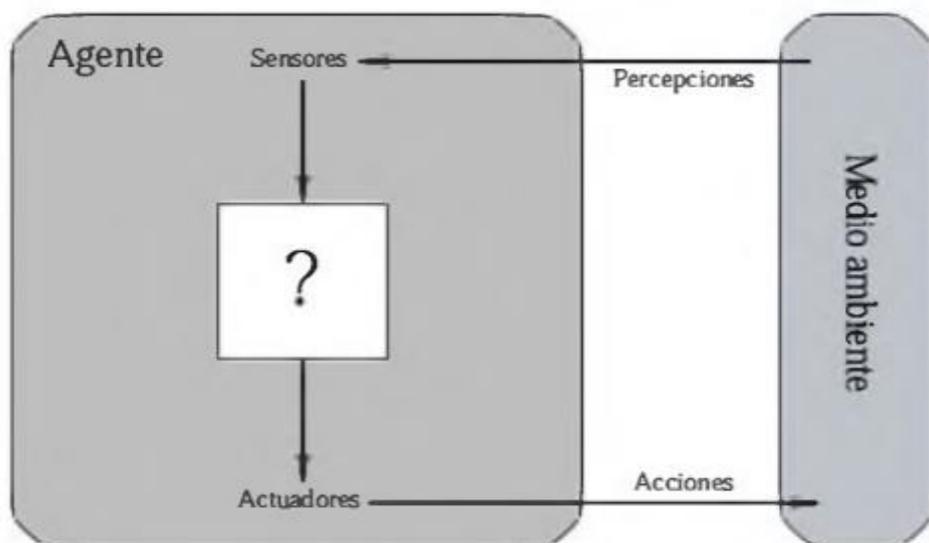


Figura 2.1: Interacción de los agentes con el entorno a través de S/A

Fuente: (Russell & Norvig, 2008)

2.2.2 Propiedades de los agentes inteligentes

Se puede decir que los agentes poseen diversas características, pero si se denominan agentes estos deben poseer tres propiedades principales y específicas (Russell & Norvig, 2008).

- **Autonomía:** Virtud de los agentes para lograr ejecutar sin requerir la intervención humana ni cualquier tipo de sistema externo.
- **Racionalidad:** Un agente no realiza acciones si las mismas no logran conducirlo hacia el desarrollo de sus objetivos, ellos se encargan de decidir la acción a seguir y el momento en realizarlo.
- **Inteligencia:** Virtud de almacenar conocimiento y utilizar el mismo razonadamente. Para lograr esto, se aplican procedimientos de inteligencia computacional como redes neuronales, lógica difusa o sistemas expertos.

2.2.3 Caracterización de los agentes

Según Aguilar et al., (2013) los agentes inteligentes son totalmente autónomos, gracias a sus características que los definen como una entidad física o virtual. Los mismos que:

- Son capaces de relacionarse con su entorno.
- Pueden relacionarse con otros agentes.
- Tiene elementos propios que caracteriza a cada uno.
- Posee una idea parcial de su ambiente.
- Posee ciertas disputas y entrega servicios.
- Logra reproducirse
- Su conducta intenta agradar sus propósitos.

2.2.4 Propiedades de los agentes

Los agentes tienen un sin número de características específicas que los determinan de acuerdo a su trabajo, según Aguilar et al., (2013) existen tres que son los dominantes del campo.

- **Movilidad:** Agentes móviles y estáticos. Su virtud es de trasladar su código y su condición de un nodo a otro en una red. Estos agentes

podrían ser móvil o estáticos en tiempos determinados dependiendo de su objetivo.

- **Proactividad:** Agentes proactivos y reactivos. Los agentes podrían alternarse a través del tiempo, lo mismo que pueden llegar a ser reactivos y otras veces proactivo. Esto depende de las circunstancias del entorno y la colectividad de agentes.
- **Propiedades mínimas (Autonomía, aprendizaje y cooperación):** Se plantea un cruce de propiedades que admite tipificar a los agentes dependientes a la existencia de ellas en él, tal como se muestra en la figura 2.2.

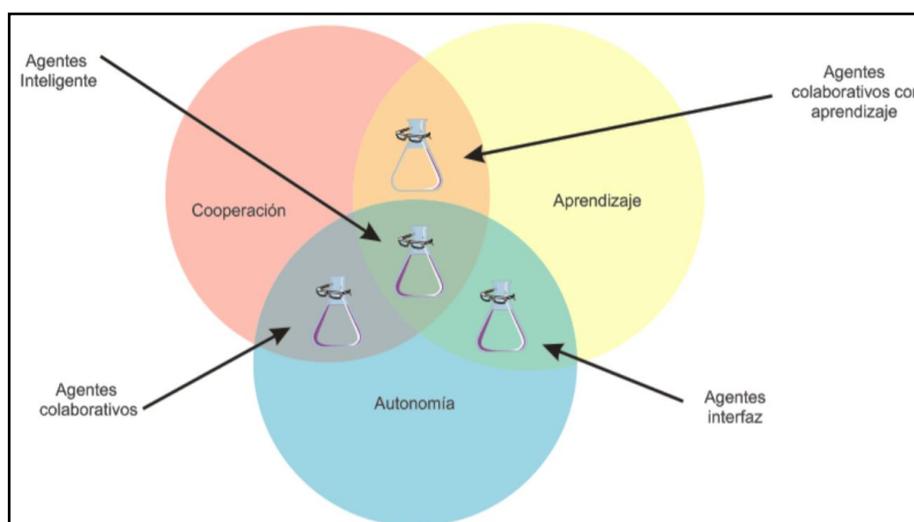


Figura 2.2: Tipos de agentes según sus propiedades
Fuente: (Aguilar et al., 2013)

2.2.5 Relación de los sistemas multi-agentes frente a Resolución Distribuida de Problemas (RDP).

Según Aguilar et al., (2013) los sistemas compuestos en la Inteligencia Artificial Distribuida (IAD), son cooperativos, están basados con al menos dos agentes, los mismo que interactúan para la solución de un problema determinado. Los agentes son regularmente heterogéneos, poseen algún grado de autonomía, con determinadas capacidades para el razonamiento, planificación, aprendizaje, entre diferentes aspectos. Para crear Sistemas Multi-Agentes (SMA), los agentes deben ser capaces de relacionarse,

negociar, pactar, coordinarse y hasta competir con otros agentes, para lograr cumplir sus objetivos, los mismos que pueden ser individuales o colectivos.

De esta manera se puede determinar que la IAD es un sub-campo de la IA, para la solución de problemas cooperativos. Sus principales áreas son los SMA y la RDP.

- El enfoque de una RDP es que, para la solución de una problemática determinada, se lo debe separar en módulos obteniendo una repartición de tareas, las mismas que se solucionan cooperativamente por los agentes determinados. El diseño de éste es centralizado, debido a que los agentes son diseñados para interactuar en un sistema interoperado, el cual es apto para solucionar el problema. Los agentes deben utilizar un mismo lenguaje y que cada uno aporte en lograr el objetivo global.
- Los SMA trabajan con un grupo de agentes autónomos con el único objetivo de resolver un problema determinado, estos comparten información sobre el problema y sus posibles soluciones. Los grupos de agentes se relacionan entre ellos, empleando protocolos y lenguajes de comunicación de un elevado nivel, con el fin de resolver problemas que podrían ser mayor a sus capacidades o de conocimiento de cada uno.

A continuación, en la Tabla 2.1 podemos observar las diferencias principales que caracterizan a los SMA y una RDP.

Tabla 2.1: Diferencias entre los SMA y una RDP (Aguilar et al., 2013)

SMA	RDP
Se enfocan organización de acciones entre los agentes.	Se centra en la descomposición de objetivos y síntesis de resoluciones propuestas.
Asíncrono (No necesita sincronizarse)	Síncrono (Necesitan sincronizarse)
Posibilitan la emergencia.	Son deterministas.

2.2.6 Sistemas multi-agentes

Según Aguilar, Prato, Bravo, Rivas (2009) los SMA son una subclase de los sistemas concurrentes, estos sistemas se enfocan en lo que se denomina exclusión mutua, bloqueo mutuo y la hambruna, problemas tradicionales en los sistemas concurrentes. Por otro lado los SMA tienen aspectos propios muy importantes: los agentes son autónomos diseñados para tomar sus decisiones para cumplir sus objetivos; los métodos de sincronización y coordinación solicitadas por un SMA están incluidas en la plataforma computacional que les proporciona soporte; existen encuentros que se dan entre los componentes del SMA es porque ellos están interesados (no quiere decir que todos los componentes compartan un objetivo determinado, como es el caso de los sistemas concurrentes).

Los SMA tienen relación con las ciencias sociales, para ello es fundamental examinar cómo operan estas sociedades. Estos se inspiran y utilizan las analogías y metáforas de comunidades humanas y animales, pero también se fundamentan en otros métodos como la teoría del juego, para elaborar métodos de relación entre los agentes. Así los SMA otorgan una herramienta para modelar, estudiar y comprender a las comunidades.

- El agente tiene la cualidad de solucionar parcialmente su problema predeterminado.
- No existe un sistema global que los gobierne.
- La información y/o datos no se encuentran centralizados.
- El sistema computacional es asíncrono (no requiere de sincronización de agentes).

2.2.6.1 Interacción en los SMA

La colaboración entre los agentes aporta más que sus acciones, por esto se requieren organizar estas y solucionar los problemas que se les presenten. La interacción admite a los agentes mediante la comunicación, enviar información para obtener un comportamiento específico (Aguilar et al., 2013)

Según Aguilar et al., (2009) se define a la interacción de los SMA como

un vínculo dinámico entre dos o más agentes, mediante un conjunto de acciones recíprocas. Los agentes trabajan recíprocamente a futuro de un grupo de eventos, estos tienen contacto ya sea directo o mediante otro agente o el entorno donde trabajan. Las interacciones son numerosas y diferentes: dividir un recurso, intercambiar datos, dividirse tareas, son circunstancias de interacciones. En la figura 2.3 se puede apreciar su estructura típica. Sobre la interacción se puede decir que:

- Los agentes son aptos para actuar y/o intercomunicarse.
- Pueden utilizarse como puntos de encuentro entre los agentes: cooperación, colisiones, uso de recursos limitados, etc.
- Componentes dinámicos que admitan vínculos locales y momentáneos entre agentes: canales de comunicación, ambientes atractivos o repulsivos, etc.
- Fijar relaciones entre los agentes, que permita fijar una relación y liberarse de la misma forma para poder actuar autónomamente.



Figura 2.3: Estructura típica de un sistema multi-agente
Fuente: (Aguilar et al., 2013).

2.2.6.2 Comunicación de los SMA

La comunicación es un factor muy significativo en los sistemas computacionales, y sobre todo en los SMA, ya que el intercambio de información entre agentes, mediante la producción y percepción de signos

en un sistema repartido de símbolos convencionales. La comunicación entre agente posibilita interactuar entre agentes, obteniendo una sincronización de sus acciones, emitir y receptor información, resolver tareas que intervengan varios agentes para cooperar entre ellos y resolver tareas conjuntamente, entre otros (Aguilar et al., 2008).

Cabe recalcar que hay aspectos importantes para posibilitar una comunicación:

- Comprensión mutua: Deben implementarse métodos de entendimiento, puede ser una traducción entre lenguajes de representación, y que este entregue el contenido semántico, entre otros.
- Medio de transporte: Se debe considerar acuerdos del canal de emisión y recepción de los mensajes entre agentes.
- Lenguaje usado: En el caso de no existir traductor, debe establecerse el significado de los mensajes.
- Política de dialogo: Para implementar una comunicación entre agentes, se debe establecer una estructura en su conversación.

Según Aguilar et al.,(2009) para la propagación de señales se necesitan de dos condiciones:

- El agente tiene la cualidad de percepción, esto le permite ser sensible a una señal establecida.
- Establecer un sistema interpretativo apto de transformar una señal en comportamiento. Cuando sucede esto se dice que la señal ha producido un estímulo. Cuando la señal necesita del sistema cognitivo para transformarla a inteligible, la señal se vuelve portadora de significado.

El medio de comunicación tiene un papel un importante, y para ello se clasifica tres tipos de métodos de transporte de mensajes (Bravo et al., 2011):

- Transporte directo: es el canal más sencillo, el mensaje es recogido por el canal de comunicación y lo envía directamente a su destino o

multidestino, no toma en cuenta la distancia ni tampoco permite la posibilidad a que otros agentes puedan recibirlo.

- Transporte mediante propagación de señal: es una técnica de comunicación de agentes reactivos, el agente envía una señal que se expande en el entorno, pero su intensidad disminuye conforme a la distancia. Por ende, la señal será más fuerte si tiene más cerca su objetivo. Si la señal enviada es un estímulo, los agentes cercanos a la fuente obtendrán más señal, esta característica es comúnmente usada en los SMA reactivos, como metodología para crear diferenciación, regular sociedad, entre otros aspectos.
- Transporte vía cartel: se trata de pequeños anuncios, el agente cuando desea comunicarse, envía su mensaje a un canal común, este es visible por todos los agentes que requieran del mismo.

2.3. Redes de sensores inalámbricos

Según Huidrobo (2006) las redes de sensores inalámbricas (WSN, del inglés Wireless Sensor Network) define a una red como un grupo de sistemas de transmisión, conmutación y otros recursos que admiten la transferencia de señales por medio de puntos fijos que se encuentre conectados a la red, esta conexión puede ser por cable, sistemas ópticos u otros. Por otra parte cabe recalcar que una red posee componentes específicos que son (dispositivos sensores), estos son dispositivos que interactúan como agentes autónomos con un microcontrolador, un radio transceptor, un elemento sensor y una fuente de energía (Aakvaag & Frey, 2006).

2.3.1. Definición WSN

Una red de sensores inalámbrica es un grupo de nodos que esta conectados entre ellos, su propósito es enviar señales de los sucesos que se manipulan y toda información relacionada a la misma, dividiendo los canales en uno o varios para la transferencia de datos, estas utilizan diversas metodologías y protocolos de forma inalámbrica con un determinado fin y el mismo establecido por el usuario (Capaña et al., 2019).

2.3.2. Protocolos y métodos de transmisión de datos

Los estándares y protocolos más comunes en este tipo son: Bluetooth, Wi-Fi – IEEE 802.11x, IEEE 802.15.4, IEEE 802.15.6, ZigBee y WirelessHart (Garbarino & Echeverria, 2012).

2.3.2.1. Bluetooth

Es una tecnología de gran variedad de accesibilidad y sus aspectos principales según Holger & Andreas (2005) son:

- **Nodo coordinador:** se trata de un nodo principal o nodo padre que frecuentemente ejecuta operaciones de consulta a diferentes sensores, a esto se le denomina polling. Por lo tanto, el nodo esclavo o hijo siempre permanecerá encendido (pendiente) esperando alguna solicitud del nodo padre.
- **Cantidad de nodos (WSN):** el número de solicitudes de conexión hacia el nodo padre es limitada (siete) y no es segura. Si necesitamos de un octavo nodo su solicitud será rechazada por el nodo padre.
- **Nodos principales:** dependiendo si el tamaño de red requerida es grande, se puede implementar más nodos padres que controlen los nodos hijos.
- **Sincronización:** Se requiere de una sincronización precisa de los nodos padres con los nodos hijos, para poder entender los roles de todos los nodos, pero esta sincronización y conexión no son estables.

2.3.2.2. Wi-Fi

En la actualidad esta tecnología es muy usada, se diseñó como consecuencia de un consorcio de compañías que trabajan con un protocolo IEEE 802.11.x. y sus principales características respecto a la utilización de esta como WSN (Holger & Andreas, 2005).

- **Medio de transmisión:** trabajan con tecnología CSMA/CA, esta tecnología revisa periódicamente el medio para poder transmitir.

- Necesidad de energía: por lo general estas redes transfieren gran cantidad de datos a alta velocidad, por ello se necesita de fuente de alimentación de gran poder, con el objetivo de soportar el tamaño y velocidad de la transferencia.
- Tiempo real: como estas trabajan con tecnología CSMA/CA significa que no garantiza canales libres y óptimos para la transferencia en tiempo real.

2.3.2.2.1. Arquitectura de Red

Existen dos modos para conectarse, uno utiliza un patrón Master/Slave siendo este el gobernante y el esclavo o hijo será la estación. Estas se conectan entre ellas utilizando un intermediario, este modo se utiliza para conexiones punto a multipunto, las mismas que sirven de conexión punto a punto. El otro modo es el ad-hoc este se lo ocupa para conectar directamente dispositivos sin requerir ningún intermediario, utilizando enlaces de punto a punto (802.11-2007 - IEEE Standard for Information Technology, 1999)

- 802.11 utiliza la banda de 2.4GHz y obtiene tasas que llegan a los 2Mbps, empleando modulaciones DSSS.
- 802.11a utiliza la banda de 5.8 GHz y obtiene tasas que llegan a los 54Mbps, empleando modulaciones HR/DSSS.

2.3.2.2.2. Enlace de radio en IEEE802.11

Este estándar del año 1997 empleaba tres técnicas de transmisión en nivel físico: IR, FHSS y DSSS.

- IR: Infrarrojos, no funciona ya que no se logró visualizar la luz.
- FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum): No se implementó.
- DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum): se trata de un ensanchamiento en la señal utilizando la multiplexación por medio de un código, para simplificar el ruido y la interferencia. Utiliza la frecuencia de 2.4GHz. Alcanza velocidades de hasta 2Mbps utilizando modulaciones DBPSK (Differential Binary Phase Shift Keying) y DQPSK (Differential Quadrature Phase Shift Keying). Su desarrollo o

transformación es HR/DSSS (High Rate) esta logra tasas de transmisión mayores.

Existen nuevas técnicas de modulación como son el estándar IEEE802.11b, IEEE802.11a y IEEE802.11g. Estas obtienen mayores velocidades de transmisión y soportan mayor robustez de conectividad. En breve se hará un pequeño resumen de cada una de ellas.

- IEEE802.11b: Su sistema de transmisión es el HR/DSSS y funciona a una frecuencia de 2.4GHz. Utilizando modulación CCK (Complementary Code Keying) se obtiene una velocidad de transmisión de hasta 11Mbps.
- IEEE802.11a: Funciona con una frecuencia de 5GHz y usa la técnica de transmisión OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) soportando velocidades de transmisión desde los 6Mbps hasta los 54 Mbps. Esta banda frecuencia tiene sus ventajas sobre la de 2.4GHz ya que es menos saturada, ya que la mayor parte de teléfonos inalámbricos, microondas y dispositivos Bluetooth trabajan con esta frecuencia de 2.4GHz.
- IEEE802.11g: Fue diseñada para solucionar el problema de incompatibilidad entre equipos de IEEE802.11a y IEEE802.11b. Funciona en la frecuencia de 2.4GHz, tiene los mismos canales y modulaciones que la IEEE802.11b. además se le agrego el sistema OFDM permitiendo soportar velocidades de hasta 54Mbps.

2.3.2.2.3 Estándar 802.11-ac

En la actualidad se utiliza el Standard Wi-Fi o 802.11-ac diseñado para la transferencia de grandes cantidades de datos rápidamente, este estándar se basa en el 802.11n, trabaja en frecuencias 2.4GHz y 5GHz, su alcance aproximadamente es de 50m, sus velocidades de transferencias llegan hasta los 600Mbps (802.11-2007 - IEEE Standard for Information Technology, 1999).

A continuación, en la figura 2.4 se muestra unas barras estadísticas del alcance de datos de transferencia por todos los sub-estándares de 802.11.

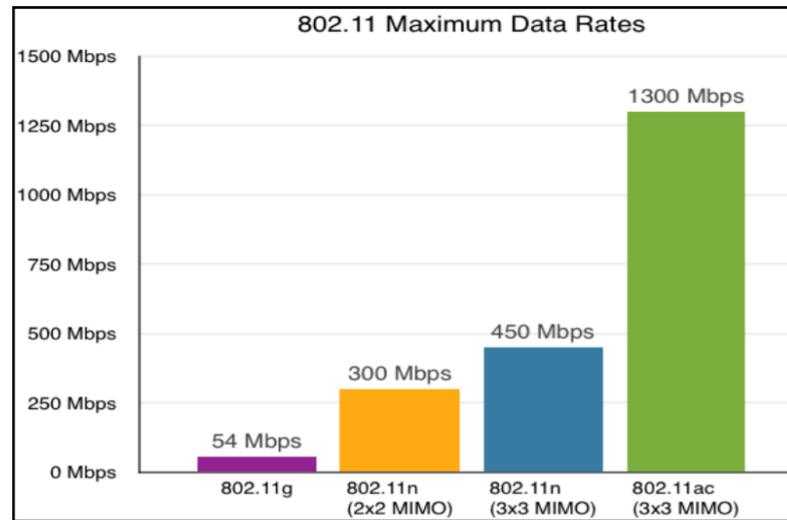


Figura 2.4: Capacidad de datos de transferencia del estándar 802.11

Fuente: adaptado de (IEEE Standard for Information Technology, 1999)

2.3.2.3. Estándar IEEE 802.15.4

Según Gill, Yang, Yao & Lu (2009) este estándar es un protocolo de radio frecuencia inalámbrica, en referente con las redes de sensores inalámbricos (WSN) es el principal promotor y el fundamento de diversas tecnologías como Zigbee, Wireshart, entre otras. Por ello se considera un protocolo de alto rendimiento, abierto y global para la transferencia inalámbrica en redes de área personal (PAN) y (WAN). Sus principales características son:

- Frecuencia de trabajo: este protocolo funciona en diversas frecuencias, 2.4Ghz y 868/915Mhz.
- Tasa de transmisión: según la tasa que requieren los sensores es suficiente para su transmisión, esta es de hasta 250kbps en 2.4Ghz, 40Kbps en 915Mhz y 20Kbps en 868Mhz.
- Acceso al medio: utilizan CSMA/CA y también poseen permiso al medio sin contención con un método llamado GTS, esta última garantiza un tiempo real en un determinado número de sensores.
- Latencia y rendimiento: estos logran transferir a una velocidad considerable y disminuir la latencia en la transferencia, logrando en ciertos casos tiempo real. El manejo de sus sensores les permite que

estos estén en modo reposo cuando no transfieran, reduciendo el consumo de energía.

- Potencia de equipos: necesitan de baja potencia, ya que sus componentes funcionan mínima cantidad de energía y potencia.
- Cantidad de nodos: dependiendo de la configuración de sus dispositivos, esto permite el manejo de un gran número de nodos.
- Espacio de tiempo garantizado: admiten el control de espacios de tiempo (time-slot), dando paso a transferencias en tiempo real.

2.3.2.4. ZigBee

Esta tecnología hace énfasis a las capas físicas y de acceso al canal de IEEE 802.15.4, también delimita las capas de servicios de red, aplicación y seguridad. Esta tecnología de igual manera que Wi-Fi es una sociedad de diversos diseñadores de tecnologías para WSN y su base es IEEE 802.15.4 (Holger & Andreas, 2005).

2.3.2.5. WirelessHART

Según Song et al (2008) es el primer estándar libre de comunicación inalámbrica, implementado para aplicación de control de procesos. Se compone de cinco capas: Física, Enlace (MAC), Red, Transporte y Aplicación. Los nodos que conforman red son: dispositivos de campo, dispositivos de mano, Gateway y administrador de red. Este estándar fue desarrollado para procesos industriales, teniendo atributos de robustez y confiabilidad, por lo tanto, llegan a soportar topologías en estrella y malla, pero no se recomienda para procedimientos en tiempo real.

2.4. Sistemas domóticos

Huidobro & Millan (2006) afirma que los inicios de la domótica se dan en los años setenta. Las primeras apariciones se dieron en Estados Unidos con dispositivos de automatización para edificios establecidos con la tecnología X-10. Las primeras aplicaciones se dieron en los sistemas de climatización y calefacción con el propósito de ahorrar energía, estos equipos se enfocaban en la implementación de sensores y termostatos que regulaban la

temperatura del medio en que se encontraban. Con el avance tecnológico, disponibilidad y proliferación de la electrónica a bajos costo beneficio el interés de estos sistemas, causando un gran interés en implementar un hogar ideal. Los proyectos de electrodomésticos sofisticados se dieron en los años noventa, de la mano del desarrollo de los PC y los diseños de cableado estructurado, provoca el desarrollo de aplicaciones de control, seguridad y comunicación que son las partes fundamentales en la domótica actualmente.

2.4.1. Domótica

Lorente (2004) en el ámbito de domestico mediante un análisis define la palabra Domo-TIC-A. “Domo” se entiende como casa o hogar, desde el punto de vista de origen que es el latín. “TIC” hace referencia a las tecnologías de la información y las comunicaciones. “A” se refiere a automatización.

La terminología TIC se escucha a diario, inicialmente era el término TI, que significa Tecnologías de la Información. Este segundo se definía por el procesado y el canal de la información. Posteriormente en Europa se agregó una C de comunicaciones, con el propósito de resaltar la sinergia y convergencia de las tecnologías de información con la industria de contenidos (radio, prensa, televisión) (Martín Domínguez & Sáez Vacas, 2006).

2.4.2. Hogar digital

El gran desarrollo tecnológico de los sistemas de comunicación, han aumentado verazmente la capacidad de crear, transferir, almacenar y procesar datos e información. Estos sucesos vienen conjuntamente de los sectores de las comunicaciones, informática y el entretenimiento, gracias a la digitalización tecnológica.

Estos puntos sobresalientes se implementan en las viviendas, debido al soporte necesario en infraestructuras y mantenimiento, mediante servicios avanzados o teleservicios. El enfoque de un hogar digital hace como objetivo

de dar una solución a las necesidades domésticas, como seguridad, confort, comunicaciones, control integral de la vivienda e incluso brindar nuevos servicios. Ofreciendo mejoras en la calidad de vida, implementando tecnologías económicas y sostenibles (Martín Domínguez & Sáez Vacas, 2006).

En la figura 2.5 se ve la infraestructura tecnológica de un hogar digital, en los sistemas domóticos, todos los subsistemas están conectados al sistema principal, de esta manera sus tareas y deberes son gobernadas por un sistema central y este posee datos de todos, en caso de que algún subsistema requiera información este se encargara de proporcionarla.

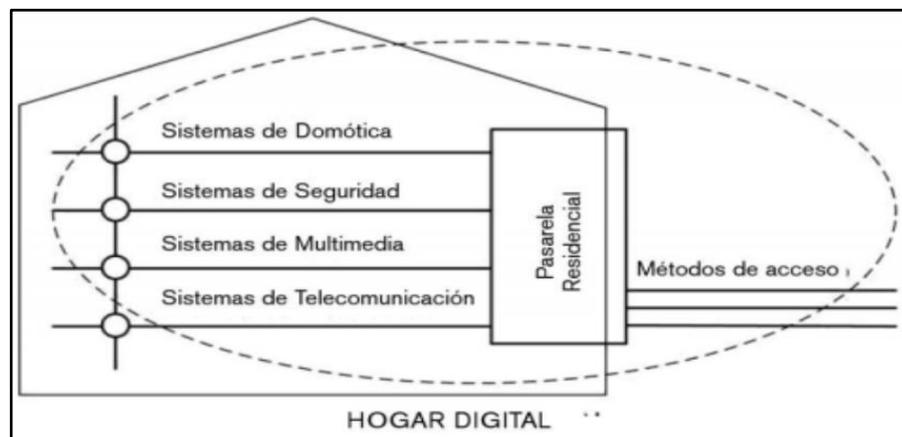


Figura 2.5: Infraestructura tecnología de un Hogar Digital

Fuente: (Junestrand et al., 2005)

2.4.3. Servicios de un sistema domótico

Los principales servicios en un sistema domótico según Morales (2011) son:

- Ahorro energético: el ahorro energético es un tema muy importante, para ello no es necesario reemplazar dispositivos o componentes por otros que consuman menos, si no buscar la eficiencia de los mismos. Adaptando sistemas que ayuden a estas gestiones simplificadas de la actividad designada.
- Confort: el confort es un beneficio en muchos aspectos, estos se consideran de tipo pasivo, activo o mixto. Como la automatización de

luminarias según el usuario desee, equipos de uso a distancia o vía internet como porteros o video porteros electrónicos, gestión de entretenimiento y programación sencilla de cronogramas de funcionalidad del sistema domótico como el usuario desee.

- Seguridad: una red de seguridad integrada a nuestro sistema domótico, se encarga de proteger la seguridad personal como nuestros bienes. Implementando simulación de presencia, alarmas de incendios, control de persianas, escapes de agua, fuga de gas, alerta médica y acceso a cámaras IP.
- Comunicaciones: en los sistemas domóticos se puede implementar redes de comunicación que se centralice en el hogar, dando acceso al control tanto externo como interno, desde dispositivos móviles o fijos conectados a una red de internet. Obteniendo información en tiempo real de todas nuestras variables de la casa.

2.5. Lenguaje unificado de modelado: UML

En la actualidad existe un alto nivel tecnológico relacionado a la programación de microprocesadores, que ejecutan diferentes rutinas para generar tareas de automatización y control. El diseño de sistemas de supervisión y control es fundamental para estos dispositivos, por eso se apoya para su desarrollo e implementación, de herramientas para elaborar modelados de estos sistemas, que permitan plasmar sus características y comportamiento. En breve se especificará más sobre modelamiento matemático.

2.5.1. Definición de UML

El lenguaje Unificado de Modelado (UML) es una herramienta muy utilizada actualmente en la elaboración de sistemas software. Estos sistemas, permiten a los desarrolladores de sistemas, crear diseños que guarden sus ideas de manera fácil, para ser comunicadas a otras personas (Schmuller, 2000).

Según Kimmel (2008) UML es una comunicación pictórica con símbolos y relaciones generales que tengan un significado universal, esto quiere decir si

todos hablan UML, las imágenes y símbolos que se observen tendrán el mismo significado para todos. El UML es una comunicación precisa como si habláramos del inglés, El UML abarca símbolos y gramática que establece la forma de usar estos. Según (Kimmel, 2008) las técnicas y herramientas para modelar resultan ser muy eficaces y útiles para representar el comportamiento de los sistemas.

2.5.2. Diagramas de UML

El UML conforma varios elementos gráficos que se intercambian para establecer diagramas, ya que UML es una comunicación que se debe aplicar reglas para intercambiar dichos elementos (Schmuller, 2000).

2.5.2.1. Diagrama de clases

En la figura 2.6 se enseña un patrón sobre UML que guardan las características y acciones de una lavadora. El grafico que se presenta, se divide en tres áreas. El área principal se encuentra el nombre, el área central o secundaria está conformada por las características, y el área final las operaciones que puede realizar. Por lo tanto, un diagrama de clase puede estar compuesto por diversos rectángulos conectados entre ellos, mostrando las clases que tienen relación entre ellos.

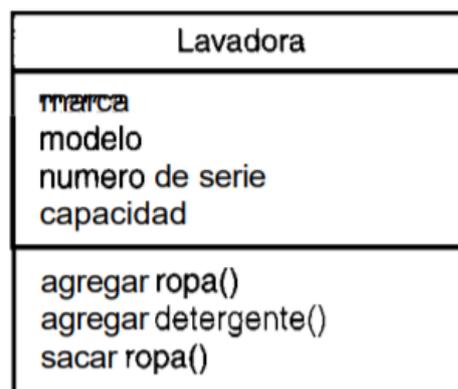


Figura 2.6: Diagrama de clase “UML”

Fuente: (Schmuller, 2000)

2.5.2.2. Diagrama de casos de uso

Permite representar sucesos de empleo es una reseña de las operaciones de un sistema desde la perspectiva del usuario. Casos es un

instrumento valioso porque es un método de aciertos y errores para alcanzar los requisitos del sistema desde la perspectiva del usuario. Esto es de gran utilidad siempre y cuando el sistema pueda ser operado por usuario en general, según como se muestra en la figura 2.7.

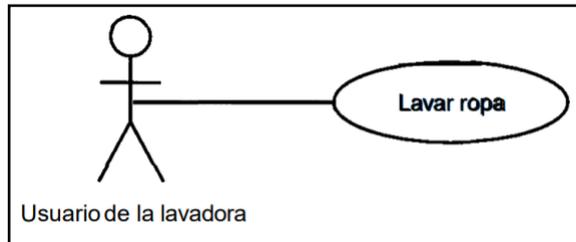


Figura 2.7: Representación del diagrama de casos de uso “UML”

Fuente: (Schmuller, 2000)

2.5.2.3. Diagrama de estados

Para explicar sobre los diagramas de estados UML, se hace referencia la figura 2.8. La figura se muestra de arriba (estado inicial) hacia abajo (estado final).

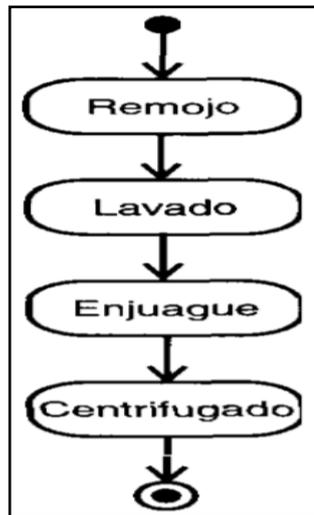


Figura 2.8: Diagrama de estados “UML”

Fuente: (Schmuller, 2000)

2.5.2.4. Diagrama de secuencias

Los diagramas de clases y objetos contienen información estática, donde el sistema operacional los interactúa entre sí mismo, estas suceden en un

lapso de tiempo designado. En otras palabras demuestra el funcionamiento de la interacción con base en tiempos Schmuller (2000), por ejemplo:

1. Se llenará de agua el tambor por medio de una manguera.
2. Durante cinco minutos el tabor entrada en un modo de inactividad.
3. El agua de la manguera se detiene.
4. Durante quince minutos el tambor se desplazará de un punto a otro.
5. El agua del proceso se expulsará por el drenaje.
6. La manguera nuevamente abastecerá de agua.
7. El tambor se mantendrá en estado giratorio.
8. La manguera detiene el abastecimiento de agua.
9. El agua se expulsará por el drenaje.
10. Durante cinco minutos el tambor incrementara su velocidad de movimiento en una sola dirección.
11. El tambor detiene el movimiento y el proceso de lavado termina.

En la figura 2.9 se representa el diagrama de secuencia con relación del ejemplo anterior.

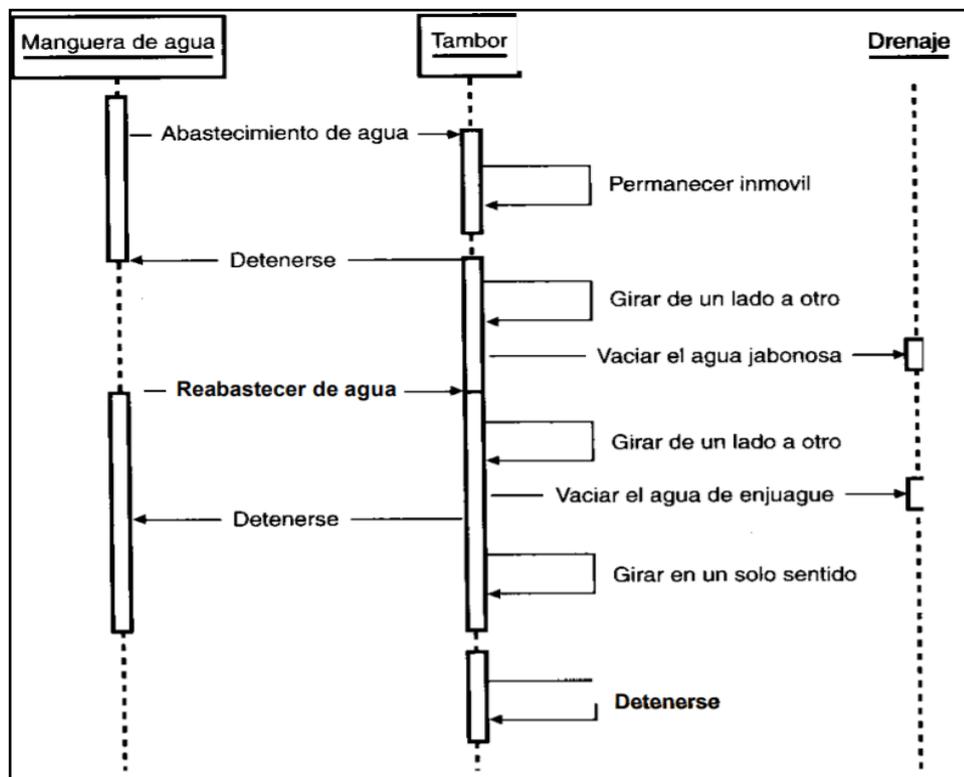


Figura 2.9: Esquema de un diagrama de secuencia "UML"

Fuente: (Schmuller, 2000)

2.6. Microcontroladores

Según Novas (2008) el microcontrolador llega a ser un circuito integrado, que posee una unidad central de procesamiento (CPU), puertos de entrada, salida y periférico, unidad de memoria (RAM y ROM). Todas estas partes se encuentra conectadas entre ellas y todo este grupo se lo denomina una microcomputadora encapsulada en un circuito integrado.

Al microcontrolador se lo denomina computador, el cual posee diferentes aplicaciones. La memoria solo se enfoca a un programa predeterminado a controlar cierta aplicación predeterminada. Tiene líneas de entrada/salida para la conexión de sensores y actuadores. En otras palabras, el microcontrolador solo será útil para controlar la tarea programada.

2.6.1. Arquitectura interna

La arquitectura clásica de los microcontroladores es la de Von Neumann, esta se caracteriza por poseer una única memoria principal donde se guardan datos y órdenes. A esta memoria se accede mediante un sistema de buses único que contiene direcciones, datos y órdenes. En la figura 2.10 se muestra la interacción que existe entre la unidad central de proceso y la memoria central, indicando como la memoria central trabaja en el almacenamiento de órdenes y datos.

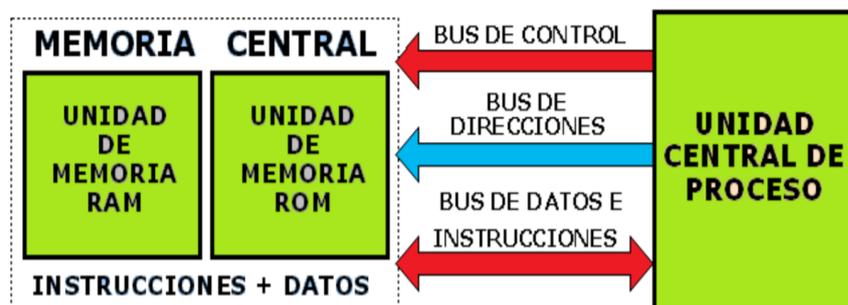


Figura 2.10: Arquitectura de Von Neumann

Fuente: (Novas, 2008)

También existe la arquitectura de Harvard y trabaja de diferente forma a diferencia de la clásica, esta posee dos memorias independientes, teniendo una memoria dependiente para cada sección datos y órdenes. En la figura

2.11 indica como la unidad central interactúa dependientemente con ambas unidades de memoria.

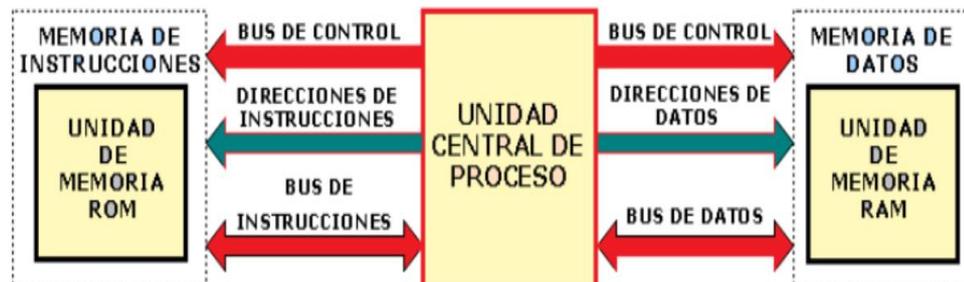


Figura 2.11: Arquitectura de Harvard

Fuente: (Novas, 2008)

2.6.2. ESP8266

El ESP8266 se diseñó con el propósito de dar una resolución independiente en las redes Wi-Fi que se adjunta entre los microcontroladores actuales, teniendo la capacidad de interactuar aplicaciones autónomas (Ubach, 2017).

Este circuito integrado posee un pequeño paquete más o menos de cinco milímetros cuadrados lo que dificulta su trabajo en él, pero se ha desarrollado placas breakout que simplifica el trabajo. Por sus reducidas medidas no se permite conectar directamente a sus salidas para el desarrollo de estas por lo tanto se amplía para obtener entrada a sus terminales.

2.6.2.1. Características generales del ESP8266

Posee un microcontrolador Tensilica Xtensa L106, este es un procesador de 32 bit y posee instrucciones de 16 bit. Este trabaja con una frecuencia de 80 MHz y puede llegar hasta 160 MHz, El Data RAM es de 80kB y su IRAM (Instruction RAM) de 35kB. Utiliza la arquitectura de Harvard, esta arquitectura permite leer una orden y tener permiso a la memoria de datos en el mismo momento. Por lo que se determina que esta arquitectura llega a ser eficaz para un circuito integrado complejo, ya que el medio es compartido.

En la tabla 2.6 indica las especificaciones más relevantes para operar el microcontrolador ESP8266.

Tabla 2.2: Especificaciones técnicas del ESP8266 (Ubach, 2017).

Voltaje	3.3V
Consumo de corriente	10uA – 170mA
Memoria Flash	16 MB máx. (512k normal)
Procesador	Tensilica L 106 32 bit
Velocidad del procesador	80 – 160 MHz
GPIOs	17
Analogico a digital	1 entrada con 10 bit de resolución (1024 valores)
Soporte de 802.11	b/g/n/d/e/i/k/r
Máximas conexiones simultaneas	5

2.6.3. Aplicaciones

Los microcontroladores se utilizan en infinidad sistemas que lo tenemos presente a diario como: microondas, juguetes, televisores, celulares, computadoras, electrodomésticos, entre otros. Esto es gracias a que son pequeños y eficaces para trabajar en el comando de todo el sistema electrónico del aparato determinado (Novas, 2008).

Donde se encuentran:

- Sistemas de comunicaciones
- Electrodomésticos
- Automoción
- Industria
- Informática
- Sistemas de supervisión
- Otros

Distribución según sus ventas:

- Las áreas de comunicación adquieren un 16%.
- Las aplicaciones industriales adquieren otro 16%.
- Aplicaciones relevantes con ordenadores adquieren una tercera parte.
- Aplicaciones como electrodomésticos, juegos, tv, entretenimiento se lleva la cuarta parte.
- Aproximadamente un restante del 10% es adquirido por el área de la automoción.

2.7. Arquitecturas de comunicación

Las arquitecturas de comunicación son estructuras, estas se encuentran organizadas de diversas maneras con el objetivo de permitir una eficiente comunicación o enlace entre sus diferentes terminales de conexión o red.

2.7.1. Arquitecturas de control

2.7.1.1. Arquitectura de control centralizada

En el sistema centralizado, se utiliza un controlador central este será gobernante, se encarga de la información a los actuadores y sensores según su programación, la configuración y datos que obtiene de los sensores, en caso de existir sistemas interconectados este controlador se encargara de almacenar todo tipo de datos del sistema que gobierne. En la figura 2.12 se muestra un esquema del sistema centralizado, con su unidad de control como gobernante enlazado por buses de comunicación que conectan a los diferentes módulos.

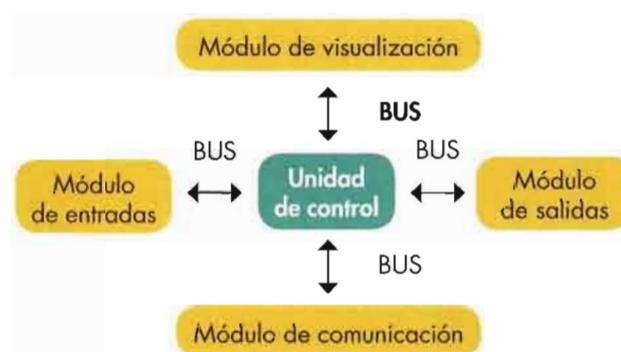


Figura 2.12: Sistema centralizado mediante centrales domóticas

Fuente: (Molina, 2010)

2.7.1.2. Arquitectura de control distribuida

La arquitectura distribuida su estructura trabaja de la siguiente manera. Cada sensor y actuador trabaja como un controlador que es capaz de interactuar y emitir información al sistema según su programación, configuración, información obtenida por sí mismo y la que obtiene de otras partes del sistema. En la figura 2.13 se muestra el diseño de la arquitectura, como cada controlador se comunica con otros y estos se comunican con sus actuadores y sensores mediante los buses de comunicación.

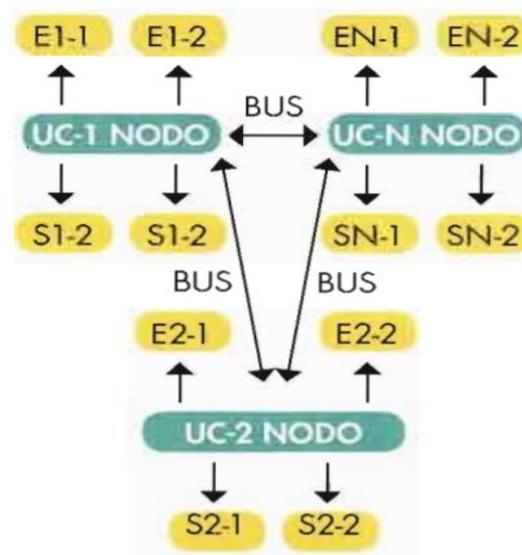


Figura 2.13: Estructura básica de control distribuida

Fuente: (Molina, 2010)

2.7.1.3. Arquitectura híbrida o mixta

En esta arquitectura el sistema se combina con los anteriores, teniendo una combinación centralizada y distribuida. Esta dispone de un controlador central o diversos controladores, los sensores y actuadores también pueden trabajar como controladores como en el sistema distribuido, de la misma manera como se hará como la información que emiten y remiten los mismos. Todo esto sin pasar por otro controlador.

2.7.2. Arquitectura de red

La topología de red hace referencia a la manera de interconectar los equipos, la misma que depende del sistema de control que se utilice y el

cableado o tipo de comunicación que se emplee. Existen tres tipos de redes, estrella, anillo y en bus.

2.7.2.1. Red en estrella

Esta configuración de red es empleada en los sistemas de control centralizados, ya que aquí existe una sola unidad de control. Todos los componentes del sistema deben conectarse a la unidad central. En la figura 2.14 se muestra la estructura de comunicación de red en estrella.

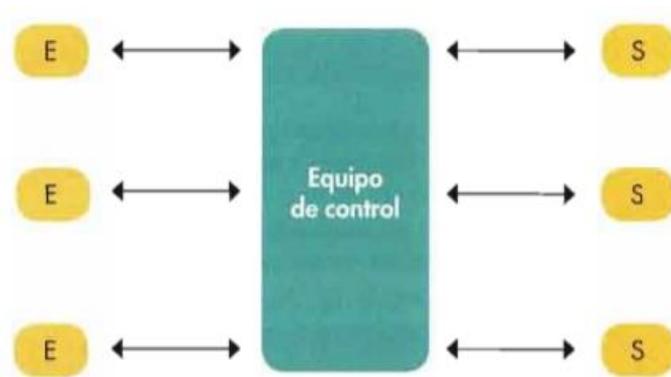


Figura 2.14: Estructura de red en estrella

Fuente: (Molina, 2010)

2.7.2.2. Red en anillo

Según como se muestra en la figura 2.15 cada unidad de control se encuentra conectada a otros hasta formar un anillo de comunicación. Esta comunicación se realiza de manera unidireccional, dando factibilidad al procedimiento de comunicación.

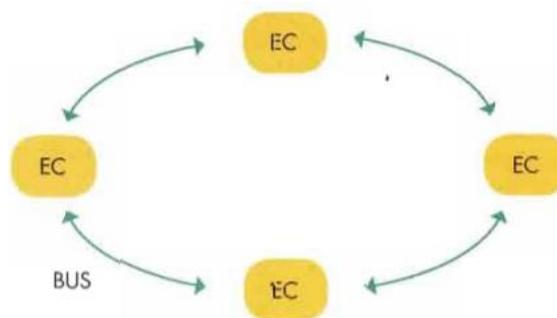


Figura 2.15: Estructura de red en anillo

Fuente: (Molina, 2010)

2.7.2.3. Red en bus

La comunicación de red en bus necesita que todos los componentes del sistema tengan estructura de equipos o unidades de control. Estos se conectan al canal de comunicación bus, este es el medio de transmisión de datos y el mismo sirve para alimentar la electrónica de los elementos del sistema conectados a él, tal como se muestra en la figura 2.16.

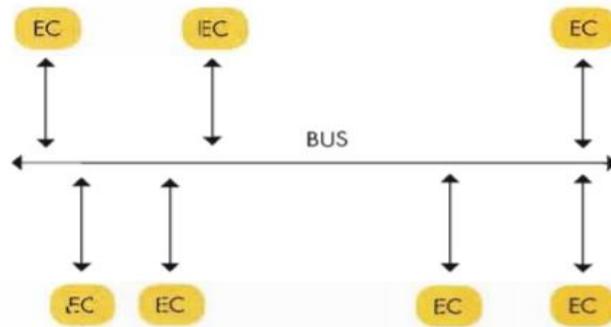


Figura 2.16: Estructura de red en bus

Fuente: (Molina, 2010)

Capítulo 3: Diseño de la red inalámbrica

En este capítulo se realiza el análisis de la red inalámbrica desde su proyección, modelado, implementación y pruebas para validar los requisitos funcionales del sistema. Se inicia el capítulo definiendo las características generales del sistema.

3.1. Consideraciones de diseño iniciales

Para iniciar el estudio y desarrollo de la red inalámbrica Wi-Fi, se realiza una descripción general del sistema, sus características principales y funciones, proporcionando una información global y específica de la misma.

3.1.1. Descripción del sistema

Se ha propuesto como caso de estudio de este trabajo, el diseño de una plataforma basada en la tecnología Wi-Fi, que básicamente comunica agentes inteligentes, orientado a un sistema domótico inteligentes. Este sistema está proyectado para adaptarse a diferentes ambientes de viviendas residenciales donde sea requerida su implementación. Otra característica del sistema, es que la red esta implementada con componentes y dispositivos de bajo costo, con el fin de que sea accesible para la mayoría de la población. A continuación, se describe el funcionamiento general de la red.

El sistema se basa en una red inalámbrica Wi-Fi, que permita una comunicación eficiente entre agentes inteligentes para un sistema domótico. Esta red está conformada por seis nodos, que se le ha denominado nodos padres (NP). Cada uno de los NP contará con una pantalla gráfica OLED, la misma que servirá para monitorizar datos de cada uno de los seis NP. En la red se ha dispuesto, que uno de los NP tenga mayor jerarquía, debido a que en él, se concentrará la información que provenga de los demás NP, generando un espacio compartido para los demás agentes, donde se deposita y se recupera la información, denominado pizarra (José Aguilar et al., 2012). El NP principal o de almacenamiento como lo llamaremos, tiene

conectado un lector de memoria SD, el mismo que servirá para almacenar datos de cada NP de control.

Estos NP se encargarán de controlar cada uno de sus subsistemas para llevar a cabo sus tareas. Estos subsistemas están conformados por nodos sensores, los cuales disponen de sensores y actuadores (S/A), que son lo que generan cambios en el ambiente controlado. Estos nodos sensores no pueden comunicarse entre ellos, y en caso de necesitarlo, deben de recurrir al NP de control y este al NP de almacenamiento, para obtener la información requerida. Al iniciar el sistema su funcionamiento, cada uno de los agentes inteligentes de control o NP de control, reconocen a sus nodos sensores y solicitan información actualizada de su estado y de los valores de las variables que tienen a cargo. Los NP de control envían los datos de sus tareas para que sean almacenadas por el NP de almacenamiento, en caso de que un NP de control necesite información del almacenamiento el NP de almacenamiento le envía. En la figura 3.1 se muestra un diagrama de flujo en el que se visualiza el funcionamiento del sistema.

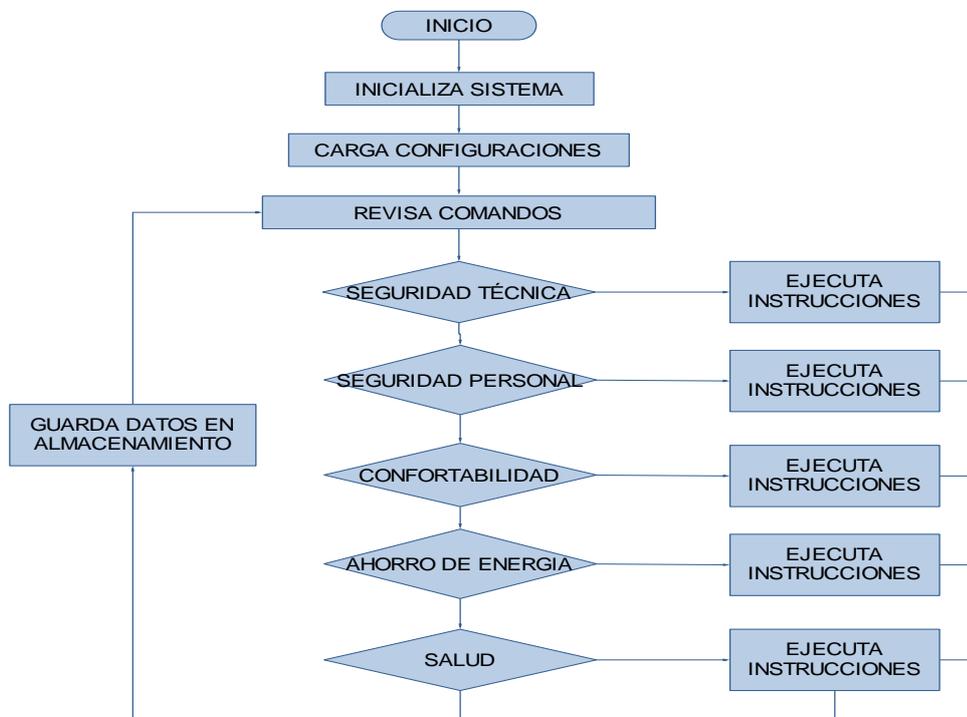


Figura 3.1: Diagrama de flujo general del sistema

Fuente: Autor

3.1.2. Características del sistema

En el acápite anterior, se ha realizado la descripción del sistema, permitiendo visualizar de una forma general su funcionamiento. Ahora, será necesario proporcionarle unas características al sistema descrito, que le dé forma a lo explicado y que pueda ejecutar las operaciones y tareas descritas de forma eficiente, cumpliendo con las funciones que serán definidas más adelante.

- El sistema dispone de cinco subsistemas para atender cada una de las funciones domóticas, y un NP para almacenamiento de información.
- Los NP trabaja con un CPU RISC de 32-bit, Tensilica Xtensa LX106 con una frecuencia de 80MHz.
- Se utiliza el protocolo de comunicación inalámbrica ESP-NOW.
- La tensión de alimentación es de 3V a 3.6V, pero puede ser alimentado por fuente de 5V.
- Pantalla monocromática Oled SDD 1306, de 128x64 pixeles.
- Lector de memoria micro SD AA115, con interfaz SPI, para tarjetas de memoria micro SD.
- Tarjeta ESP8266, tiene una cobertura de hasta 10m con obstáculos.

3.1.3 Funciones del sistema

Para plantear las funciones del sistema, se ha considerado las funciones domóticas que va a cumplir la plataforma, tanto desde del agente de gestión, como de los agentes de control. A continuación, se muestra la función del sistema:

- i. Agente de gestión:
 - Función de almacenamiento de información, para almacenar y recuperar información de todo el sistema. Además, desde este agente se establece la comunicación con cada uno de los otros cinco agentes.

- ii. Agentes de control: Estos agentes de control están encargados de comandar su subsistema, y establecer una comunicación con el agente de almacenamiento para su intercambio de datos.
 - Función de confortabilidad de la vivienda orientada a la climatización e iluminación de ambientes.
 - Función de eficiencia energética, que permite el ahorro de recursos dentro de la vivienda, tales como energía eléctrica y agua potable.
 - Función de seguridad técnica, para generar alarma y apoyo en caso de desastres naturales, tales como terremotos, incendios, inundaciones.
 - Función de seguridad personal, orientada a generar alarmas o tomar acciones en caso de ingresos no deseados a la vivienda.
 - Función de salud, para proveer atención de personas vulnerables de la vivienda tales como discapacitados, mayores de edad o niños.

3.2. Arquitectura del sistema domótico

La arquitectura domótica se basa principalmente en la topología de red, la distribución jerárquica de sus nodos, así como, la distribución de los diferentes dispositivos que conforman el sistema, a fin de disponer de un modelo de red que permita ser implementada en un sistema domótico.

3.2.1. Arquitectura domótica

El sistema se encuentra estructurado por seis nodos padres, tal como se muestra en la figura 3.2, de los cuales existe un NP principal, representado por el nodo de almacenamiento, que es el encargado de supervisar y gestionar a los nodos padres de control. Los cinco NP de control están encargados de realizar sus tareas determinadas: seguridad técnica, seguridad personal, confortabilidad, ahorro de energía y salud. Cada uno de estos tiene su propio subsistema, pero no el control de sensores/actuadores bajo su mando. Estos subsistemas son sus nodos hijos que controlan los sensores/actuadores del sistema (Mendoza et al., 2020). En caso de que un NP de control necesite información específica de otro NP de control para

realizar su tarea, este se dirige al NP de almacenamiento para solicitar información del NP de control que se requiera.

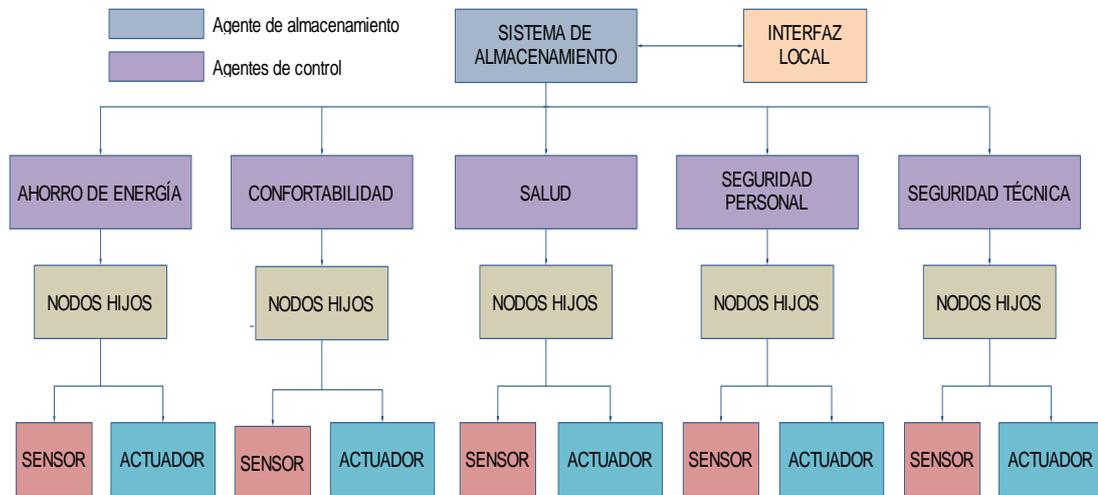


Figura 3.2: Estructura de la arquitectura doméstica

Fuente: Autor

La arquitectura del sistema de control es de tipo distribuida, debido a que cada uno de los elementos cuenta con su propio elemento de control (microcontrolador). Hay que considerar que la arquitectura es distribuida jerárquica, debido a que los nodos de control, están sujetos a la supervisión y mando de otros nodos, aunque en este caso solo se muestra el de almacenamiento.

3.2.1.1. Sistema de almacenamiento

El sistema de almacenamiento está gobernado por el NP principal, es el encargado de todo el sistema en general y el que emite/recepta información o datos proporcionada por cada subsistema o NP de control, este también almacena toda la información de cada NP del sistema.

3.2.1.2. Confortabilidad

Este subsistema o NP de confortabilidad está encargado de todas las áreas de confort del sistema como control de temperatura, control de luminarias, todo esto controlado por sensores/actuadores. La información que emita este subsistema será destina al NP principal, y en caso de necesitar información de otro NP este le pedirá al NP principal.

3.2.1.3. Ahorro de Energía

El NP de ahorro de energía se encargará de todas las áreas donde se pueda implementar el ahorro energético, dando soluciones programadas en base a la información que obtiene del NP principal utilizando sensores/actuadores. El ahorro de energía puede extenderse a otros recursos como el agua o algún otro elemento del hogar, que el nodo de ahorro de energía puede gestionar para optimizar su uso.

3.2.1.4. Seguridad Técnica

Este NP de seguridad técnica o seguridad del hogar, este nodo es el encargado de dar seguridad al hogar con sus diferentes protocolos, utilizando sensores/actuadores e información obtenida del NP principal.

3.2.1.5. Seguridad Personal

El NP de seguridad personal es el encargado de interceptar por la seguridad del usuario según sea su programación, además tiene acceso a la información otorgada por el NP principal de los otros NP en caso de necesitarla para sus tareas, utilizando sensores/actuadores.

3.2.1.6. Salud

El NP de salud tiene como tarea encargarse de la salud de los usuarios o mascotas según sea su programación, se puede coordinar llamadas de emergencia, entre otros. Este también tiene acceso al NP principal en caso de requerir datos de otro NP. Generalmente el nodo de salud está orientado a proveer ayuda o protección a personas vulnerables del hogar, como pueden ser niños, ancianos o discapacitados.

3.2.2. Arquitectura de control doméstico

El sistema doméstico tiene una arquitectura de control distribuido jerárquico, constituida por cinco niveles, en la figura 3.3 se muestra la arquitectura de control doméstico distribuida por niveles, de los cuales:

- El nivel superior de la red es el que comanda la red del sistema, este es el interfaz local de supervisión/programación donde configuraremos la red a través de un ordenador.

- El siguiente nivel está compuesto por el sistema de almacenamiento o NP principal, este es el que se comunica con los demás nodos de control y el encargado de almacenar toda la información del sistema.
- El nivel intermedio está compuesto por cinco NP de control, cada uno de ellos gobierna los subsistemas de: confortabilidad, ahorro de energía, seguridad técnica, seguridad personal y salud. Estos se comunican con el sistema de almacenamiento para comunicarse con el resto del sistema.
- El siguiente nivel se encuentran los nodos hijos es el encargado de comandar sensores y actuadores de su entorno. Este nivel es gobernado por cada NP según corresponda.
- El último nivel está compuesto por sensores/actuadores. Estos son los encargados de interactuar con el entorno, dado en operación el sistema.

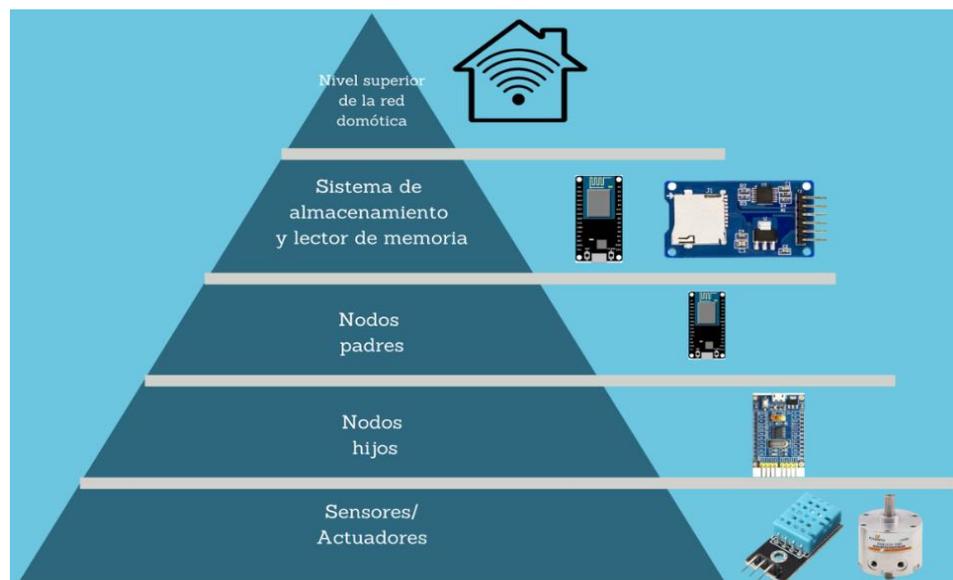


Figura 3.3: Arquitectura de control domótico

Fuente: Autor

3.2.3. Arquitectura de la red domótica

La arquitectura de red utiliza una distribución jerárquica, principalmente se establecen tres niveles. En la figura 3.4 se muestra una arquitectura distribuida jerárquicamente en tres niveles, de los cuales se escribe a continuación:

- El sistema o agente de almacenamiento es el que gobierna toda la red del sistema, a este se encuentran conectados los demás subsistemas o agentes de control. Este se encarga de comunicarse con los demás agentes y almacenar la información obtenida de sus subsistemas.
- Los NP de control o agentes de ahorro de energía, confortabilidad, salud, seguridad personal y seguridad técnica. Se encargan de gobernar sus subsistemas, estos establecen comunicación entre los nodos hijos y el sistema de almacenamiento. Recolectan información o datos de las tareas realizadas por sensores/actuadores, además estos se conecta con el sistema de almacenamiento para almacenar sus datos y proporcionarlo a otros subsistemas en caso de necesitarlos.
- Los sensores/actuadores estos están controlados por los nodos hijos y son los encargados de establecer sus tareas, las mismas que proporcionan datos y estos son enviados al sistema de almacenamiento por medio de los subsistemas o agentes que son los NP de control.

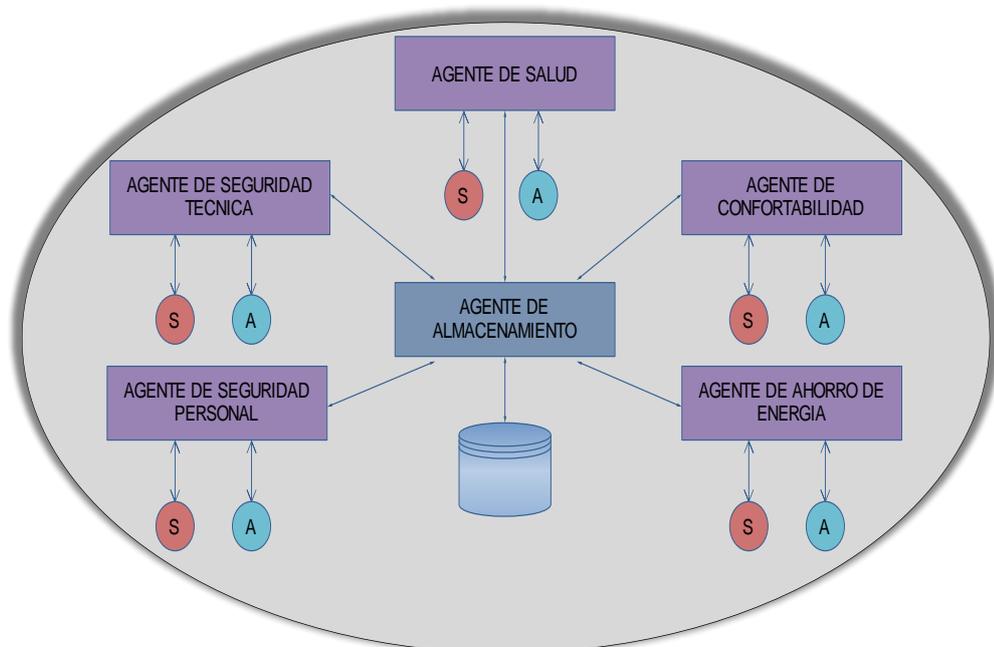


Figura 3.4: Arquitectura de red de comunicación domótica

Fuente: Elaboración propia

3.3. Análisis de los nodos de Red

3.3.1. Nodo padre

Descripción del funcionamiento. El sistema está compuesto por seis NP de los cuales uno de ellos gobierna la red y está encargado del sistema de almacenamiento, este se encarga de obtener datos e información de los otros NP y almacenarla, también permite enviar esta información hacia cualquier NP de control que necesite de información para realizar sus tareas. Por otro lado los cinco NP de control se encargan de gobernar su propio subsistema e intercambiar datos con el NP de almacenamiento.

3.3.1.1. Funciones del nodo padre

El nodo padre de gestión de almacenamiento o NP principal tiene las siguientes funciones:

- Coordina la comunicación con los NP de control.
- Recibe información de todos los NP del sistema.
- Almacena la información de los NP de control, por lo que se lo establece como el sistema de almacenamiento de la red.
- Comparte información con los nodos de control, si algún NP de control lo requiere.

Los cinco NP de control tienen las siguientes funciones:

- Coordinan la comunicación con el NP de almacenamiento.
- Control de los nodos hijos a su cargo.
- Envían sus datos al el NP de almacenamiento para que estos sean almacenados, y si necesita información sobre otro NP de control, el NP de almacenamiento le proporciona.
- Presenta datos sobre sus tareas en sus pantallas graficas.

3.3.1.2. Arquitectura del nodo padre

Los nodos padres están constituidos por un microcontrolador ESP8266 WiFi, trabaja con procesador de 32 bits con una frecuencia de 80Mhz, a 3.3V, ofrece una completa solución de conectividad Wi-Fi que es apto para elaborar diversas aplicaciones de comunicación. Su libre programación en Arduino y su bajo costo es la razón que se escogió este microcontrolador.

Cuenta con una fuente de alimentación, entrada y conversor análogo-digital (ADC), entradas/salidas digitales (I/O). Estos se encuentran conectados a una pantalla grafica OLED que sirve para mostrar datos, pero tan solo el NP de almacenamiento está conectado con un lector de memoria micro SD, el mismo que servirá para el almacenamiento de los datos. Los NP de control se pueden conectar con módulos de RF para comunicarse con los nodos hijos (Mendoza et al., 2020). En la figura 3.5 se muestra como se constituye el NP y su conexión con los demás componentes.

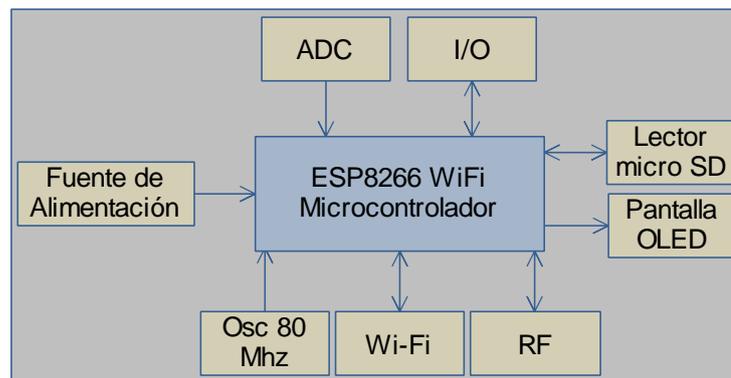


Figura 3.5: Arquitectura del microcontrolador ESP8266

Fuente: Autor

3.3.2. Gestión de la información de la red

La información es gestionada por el sistema de almacenamiento que es el NP de almacenamiento, el mismo que se encarga de establecer la comunicación entre todos los NP de control. Este sistema de almacenamiento es el responsable de recibir todos los datos proporcionados por cada uno de los subsistemas y almacenarlo en una tarjeta micro SD, esta información puede compartirse con todos los subsistemas en caso de requerirlo para cumplir sus solicitudes.

3.3.2.1. Comunicación Wi-Fi entre nodos

La comunicación entre los nodos es a través del NP de almacenamiento, este es el encargado de establecer la red donde los otros NP de control o subsistemas se conectan cada uno directamente al NP de almacenamiento vía Wi-Fi, creando así una red estable entre los NP. Los NP de control se

encargan de enviar datos sobre sus subsistemas que son controlados por sus nodos hijos, estos son enviados al sistema de almacenamiento. En la Figura 3.6 se muestra una Arquitectura de red de comunicación domótica, donde se puede apreciar la comunicación entre los nodos.

3.3.2.2. Protocolo de comunicación

Para el diseño de esta red se determinó utilizar el protocolo inalámbrico ESP-NOW diseñado por Espressif, fabricantes del módulo Wi-Fi ESP8266 que es utilizado en el estudio de este trabajo. Según la guía de programación de (Espressif, 2016), este protocolo utiliza una frecuencia de 2.4GHz. Para su conexión e identificación no hay direcciones IP asignadas a los dispositivos, pero utiliza una dirección MAC, esta es única en el dispositivo y le permite conectarse al nodo correcto. Este protocolo puede establecer una conexión de hasta con 10 módulos y su carga máxima es de 250 bytes. La comunicación inalámbrica de esta red utiliza este protocolo, la misma que se distribuye jerárquicamente. Donde el NP de almacenamiento es el nodo central de la red, el establece una conexión directa con cada uno de los cinco NP de control de la red para la transferencia de datos, como se puede observar en la figura 3.6.

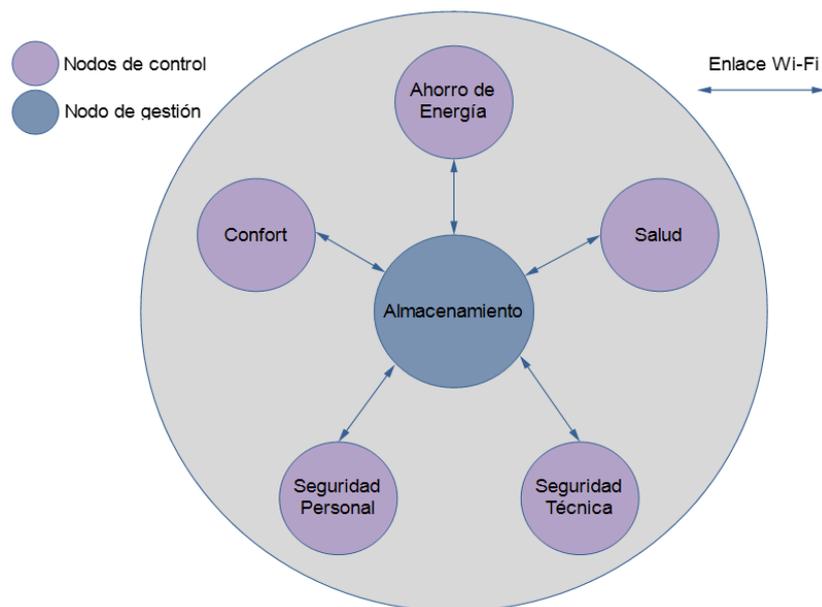


Figura 3.6: Enlace de comunicación NP almacenamiento - NP de control

Fuente: Autor

3.3.2.3. Tramas de comunicación

Para el enlace de comunicación NP-NP se utilizó el protocolo ESP-NOW (Espressif, 2016), la velocidad predeterminada de este protocolo es de 1 Mbps. El formato de trama de comunicación específico se muestra en la tabla 3.1.

Tabla 3.1: Formato de trama de comunicación (Autor)

MAC	Código de categoría	Identificador de organización	Valores aleatorios	Contenido específico proveedor	FCS
24 bytes	1 byte	3 bytes	4 bytes	7-255 bytes	4 bytes

En breve se describe el formato de la trama de comunicaciones:

- **MAC:** Indica el encabezado MAC o dirección única del dispositivo.
- **Código de categoría:** El campo código de categoría se establece en el valor (127) que indica la categoría específica del proveedor.
- **Identificador de organización:** Contiene un identificador único (0x18fe34), estos son los tres primeros bytes de la dirección MAC aplicados por Espressif.
- **Valor aleatorio:** El campo de valor aleatorio se utiliza para evitar ataques de retransmisión.
- **FCS:** Es la secuencia de comprobación de tramas.
- **Contenido específico del proveedor:** Contiene los siguientes campos específicos que se muestran en la tabla 3.2.

Tabla 3.2: Contenido específico del proveedor (Autor)

ID	Longitud	Identificador organización	Tipo	Versión	Cuerpo
1 byte	1 byte	3 bytes	1 byte	1 byte	0-250 bytes

En breve se describe los datos del contenido específico del proveedor que se muestra en la tabla 3.2.

- ID de elemento: El campo ID de elemento se establece en el valor (221), que indica el elemento específico del proveedor.
- Longitud: Es la longitud total del identificador, el tipo, la versión y el cuerpo de la organización.
- Identificador de organización: Contiene un identificador único (0x18fe34), que son los primeros tres bytes de la dirección MAC.
- Tipo: El campo de tipo se establece en el valor (4) que indica ESP-NOW.
- Versión: El campo versión se establece en la versión de ESP-NOW.
- Cuerpo: El cuerpo contiene los datos ESP-NOW.

3.4. Modelado de la red inalámbrica

3.4.1. Consideraciones iniciales para el modelado en UML

Los diagramas de casos UML son de gran ayuda para los diseñadores de sistemas de redes complejas, ayudan a comprender su funcionamiento y a realizar un modelado correcto para obtener un buen funcionamiento. Estos modelados representan la interacción que tiene el usuario con el sistema, en este caso también puede ser un técnico/supervisor del sistema.

Para el modelado de este sistema se tomó en cuenta seis actores que interactúan en tres ambientes con diversas acciones con respecto a la interacción que existe con este. Estas acciones son principales y secundarias, las mismas que muestran como interactúa el actor con su entorno, para ello se desarrolló los siguientes diagramas de uso, de los cuales son:

- Diagrama de casos de uso del Sistema general
- Diagrama de casos de uso del Agente de Almacenamiento
- Diagrama de casos de uso del Agente de Control

3.4.2. Diagramas de casos de uso

En la figura 3.7 se muestra el de uso del sistema general, donde hay tres actores que son: Usuario, Técnico y la vivienda o casa donde se implementara el sistema. El técnico tiene dos relaciones de uso en este sistema que es de: Configuraciones y visualización de los datos

almacenados. Por otro lado el usuario tiene las siguientes relaciones que son: interacción con sensores/actuadores (S/A) de cada uno de los agentes y visualizar datos en tiempo real, este último esta enlazada con la funcione <<include>> hacia los datos almacenados del sistema, esta función representa que está incluido o implicado del otro. Por ultimo tenemos al actor vivienda que tiene relación directa con la interacción de S/A de cada uno de los agentes dentro de la misma vivienda.

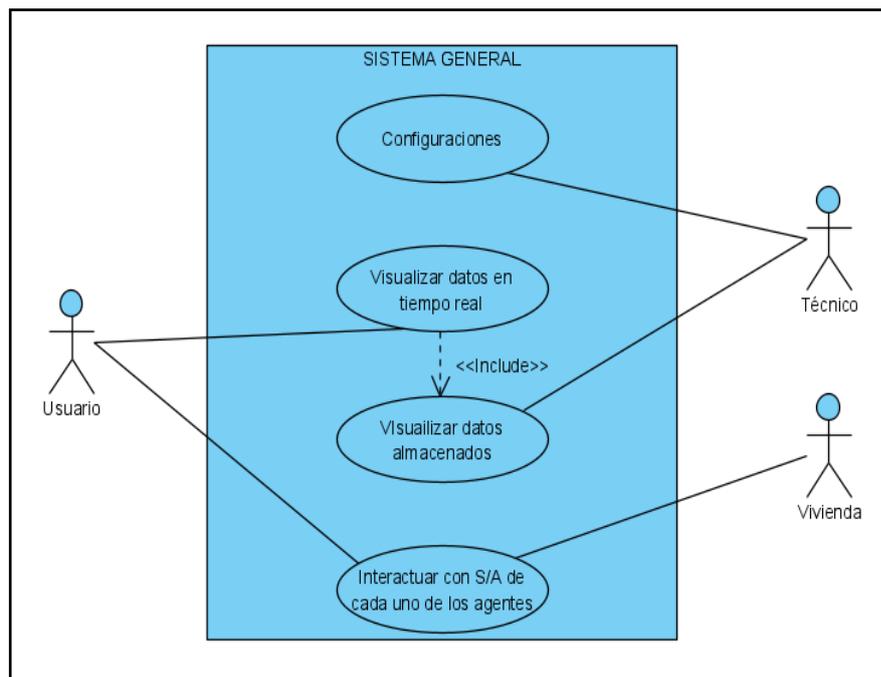


Figura 3.7: Diagrama de casos de uso del Sistema General

Fuente: Autor

En la figura 3.8 se muestra el diagrama de casos de uso del agente de almacenamiento, en este agente intervienen dos actores que son: Técnico y los Agentes de control (Ahorro de Energía, Confortabilidad, Salud, Seguridad Técnica, Seguridad Personal). El técnico tiene relación de uso de configuración y visualización de los datos almacenados, estos están incluidos con la función <<include>> hacia el almacenamiento de datos. Por otro lado, se tiene a los agentes de control que están encargados directamente de Enviar/Recibir datos y solicitar datos de otros agentes (si es necesario), estas dos relaciones de uso están incluido con la función <<include>> hacia el almacenamiento de datos.

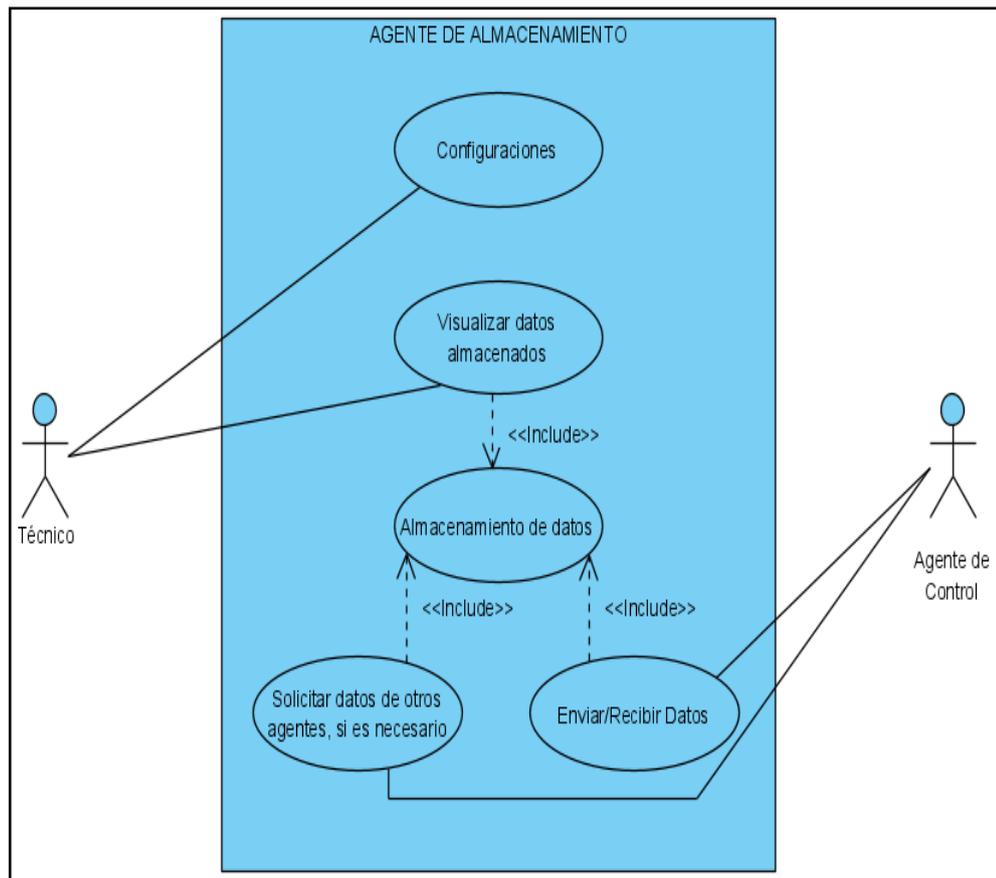


Figura 3.8: Diagrama de casos de uso del Agente de Almacenamiento

Fuente: Autor

En la figura 3.9 se muestra el caso de uso de los agentes de control. Dado que todos los agentes de control comparten la misma arquitectura, aunque diferentes funciones y tareas, se ha elaborado un diagrama de casos de uso, que represente a todos los agentes de control (Ahorro de Energía, Confortabilidad, Salud, Seguridad Técnica, Seguridad Personal). En este diagrama intervienen cuatro actores que son: Agente de Almacenamiento, Técnico, Usuario y Nodo Hijo. El técnico tiene relación con la configuración y esta se encuentra incluida en Enviar/Recibir datos con la función <<include>>. El agente de almacenamiento hace de uso de Enviar/Recibir datos. El usuario tiene dos relaciones de uso que son la interacción con los sensores/actuadores del agente de control y visualización de datos en tiempo real desde cada uno de ellos. Por otro lado se tiene la relación de caso de uso con el Nodo hijo o los nodos hijos, los cuales solicitan ordenes al agente de control o NP (Mendoza et al., 2020).

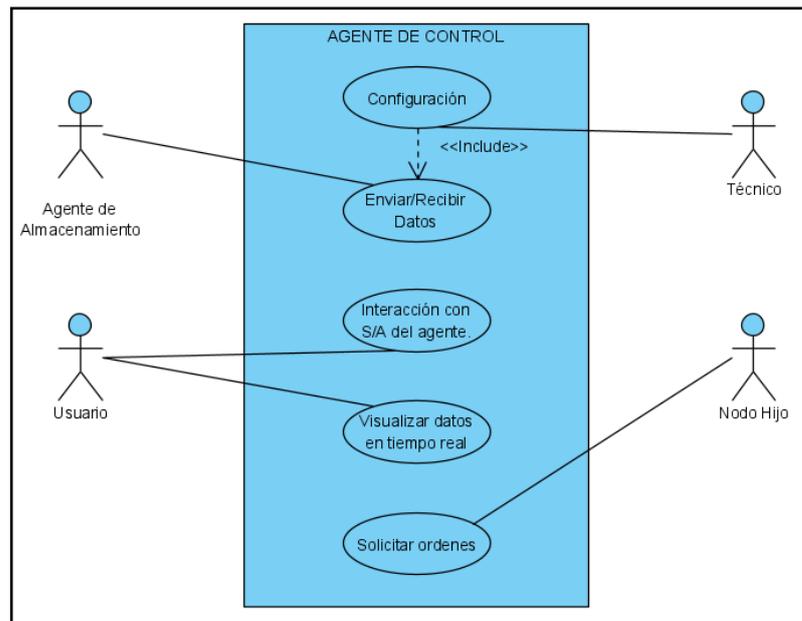


Figura 3.9: Diagrama de casos de uso del Agente de Control

Fuente: Autor

3.4.3. Diagrama de secuencia

Los diagramas de secuencia son herramientas gráficas orientadas al modelado de las interacciones entre objetos del sistema, permitiendo describir el comportamiento dinámico del sistema, lo que ayudan a comprender el funcionamiento del sistema paso a paso y la secuencia de interacciones entre los diferentes componentes del sistema. Esto permitirá obtener una vista general de lo que sucede en el sistema.

El diagrama de secuencia general del sistema, se han agregado cuatro actores que intervienen en él y son: usuario, agente(s) de control, agente de almacenamiento y técnico. A continuación, se describe el orden de secuencia de como intervienen los actores, tal como se muestra en la figura 3.10.

- El sistema comienza desde la interacción que existe entre el usuario y los sensores/actuadores que son gobernados por el agente de control, al suceder esto el agente de control recibe una solicitud de tarea programada (1: Interacción con el sistema).
- La orden o señal es procesada por el agente de control (1.1: Procesa solicitud).

- En caso de que el agente de control necesite de datos de otro agente para realizar su tarea programada, este solicita actualización de datos hacia el agente de almacenamiento (1.2: Solicita actualización datos).
- La solicitud de datos es procesada por el agente de almacenamiento (2: Procesa solicitud).
- El agente de almacenamiento envía una actualización de datos hacia el agente de control que requirió de estos datos (3: Envía datos).
- El agente de control visualiza datos actualizados en tiempo real al usuario (3.1: Visualiza datos).
- El agente de control procesa los datos actualizados para realizar su tarea (3.2: Procesa información).
- El agente de control realiza su tarea programada, esta tarea es cumplida para el usuario (3.3: Tarea Realizada).
- El agente de control actualiza datos de sus sensores (3.4: Actualiza valores de sensores).
- El agente de almacenamiento solicita datos de los sensores/actuadores de cada uno de los agentes de control (4: Solicita datos).
- El agente de control con sus datos actualizados los visualiza hacia el usuario (4.1: Visualiza datos).
- El agente de control procesa la solicitud de datos del agente de almacenamiento (4.2: Procesa solicitud).
- Los datos del agente de control son enviados al agente de almacenamiento (4.3: Envía datos).
- El técnico interviene en el sistema al momento de revisión, configuraciones, o fallo que ocurra en cualquier parte del sistema. Por ello el técnico se comunica con el agente de almacenamiento para obtener información del funcionamiento en todos los puntos del sistema (5: Solicitud de datos).
- El agente de almacenamiento procesa esta solicitud de datos en tiempo real y almacenados (5.1: Procesa Solicitud).

- El agente de almacenamiento solicita datos actualizados de los agentes de control (5.2: Solicita datos).
- El agente de control procesa esta solicitud de actualización de datos (5.2.1: Procesa solicitud)
- El agente de control envía sus datos actualizados al agente de almacenamiento (5.2.2: Envía datos).
- Los datos son procesados por el agente de almacenamiento (5.3: Procesa datos).
- El agente de almacenamiento visualiza datos actualizados y almacenados al técnico (5.4: Visualiza datos).

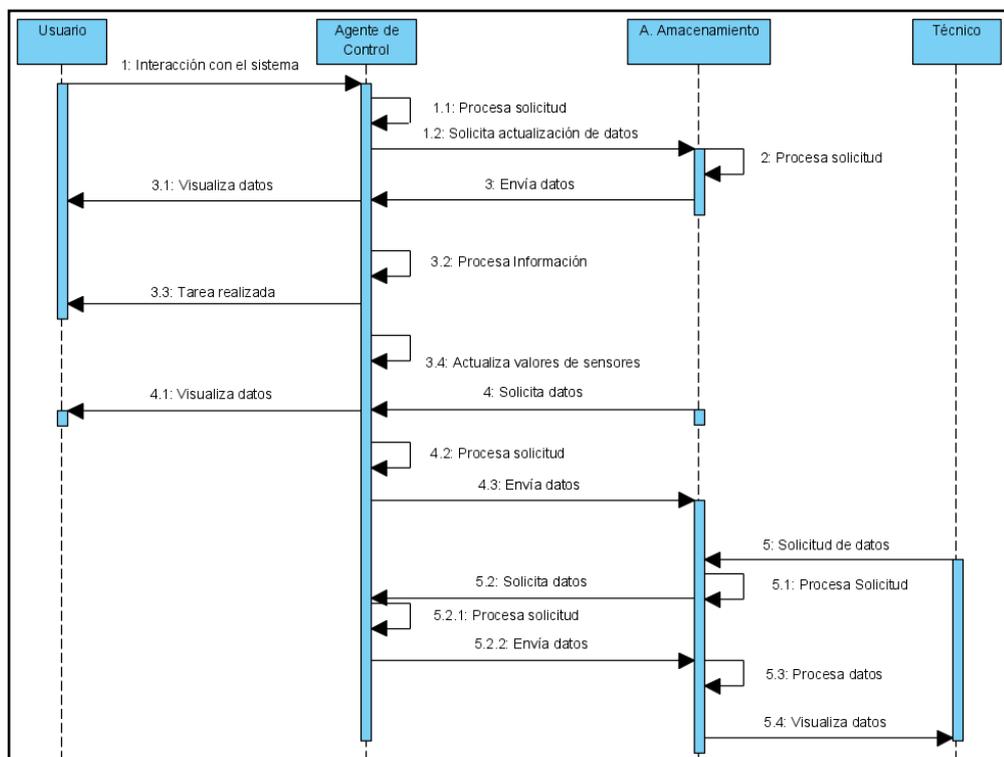


Figura 3.10: Diagrama de secuencia general del sistema

Fuente: Autor

3.4.4. Diagrama de estados

Los diagramas de estado son una herramienta gráfica que ayuda a identificar el funcionamiento de un proceso específico, paso a paso, obteniendo el entendimiento de cada parte de dicho proceso. A continuación, se describe en detalle el proceso de este sistema de red de comunicación:

El diagrama de estados del sistema general de la red de comunicación está compuesto de dos partes:

- 1) Inicio y conexión entre los NP.
- 2) Funcionamiento e interacción de la red de comunicación domótica.

En la figura 3.11 se muestra el diagrama de estados general de la red, donde se puede observar el proceso paso a paso, en breve se describe los estados del diagrama:

- El sistema comienza con “Inicio del sistema” donde se energiza cada uno de los NP o agentes.
- La “Carga de Configuraciones” es el proceso que tiene cada uno de los NP para establecer sus funciones y enlaces de conexión programados en cada uno de ellos.
- La “Conexión es establecida entre todos los NP”, es decir que se encuentran listos para interactuar con el sistema domótico. Este estado se encuentra enlazado con un “Fin de estado” ya que el proceso de enlace y comunicación entre todos los NP se efectuó.
- Luego de establecer la comunicación entre los NP, el sistema está listo para interactuar con su entorno domótico, es decir sus sensores/actuadores (S/A) comienzan a operar.
- Los agentes de control reciben una solicitud de tarea proveniente de los sensores/actuadores (S/A) de su respectivo entorno designado.
- Los agentes de control se comunican con el agente de almacenamiento para actualizar datos del sistema si se requiere para realizar una tarea.
- El agente de almacenamiento envía datos solicitados al agente de control.
- El agente de control procesa los datos enviados para realizar su tarea.
- La tarea es realizada efectivamente.
- El agente de control envía sus datos actualizados al agente de almacenamiento.
- Los datos son almacenados por el agente de almacenamiento, este estado se encuentra enlazado a la solicitud de datos de los agentes

de control ya que este es el que almacena y proporciona los datos solicitados por los agentes de control.

- El diagrama de estado llega a su estado final, pero la red de comunicación se mantiene funcionando continuamente.

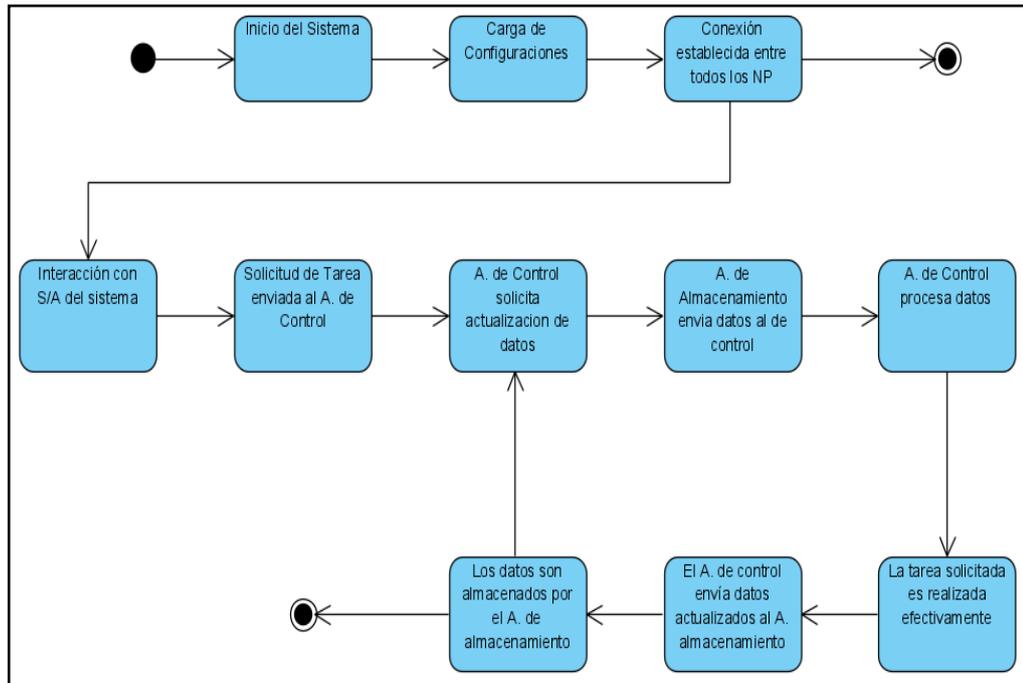


Figura 3.11: Diagrama de estados general del sistema
Fuente: Autor

3.5. Implementación del sistema

Una vez que se ha elaborado el modelado en UML de los requisitos del sistema, se pasa a una siguiente fase, en donde se hace necesario, analizar con mayor detalle cada uno de los elementos del sistema. Los elementos de análisis será básicamente el nodo de almacenamiento, que constituye un agente de gestión en un sistema domótico y los agentes de control, que son el centro de cada subsistema de la red domótica, dado que cada uno de ellos, controla un número determinado de sensores/actuadores.

3.5.1. Diseño del firmware para el Nodo de almacenamiento

El nodo de almacenamiento a diferencia de los agentes de control, no dispone de sensores/actuadores a su cargo, y su función es la de servir como una especie de pizarra de información. Esta pizarra o cartelera

corresponde a una comunicación indirecta, y se la describe como un espacio compartido usado por todos los agentes del sistema donde se almacena y se recupera información proveniente de los elementos u objetos de la red (José Aguilar et al., 2012).

En la figura 3.12 se muestra el diagrama de flujo de funcionamiento del nodo de almacenamiento, el mismo que se describe en breve.

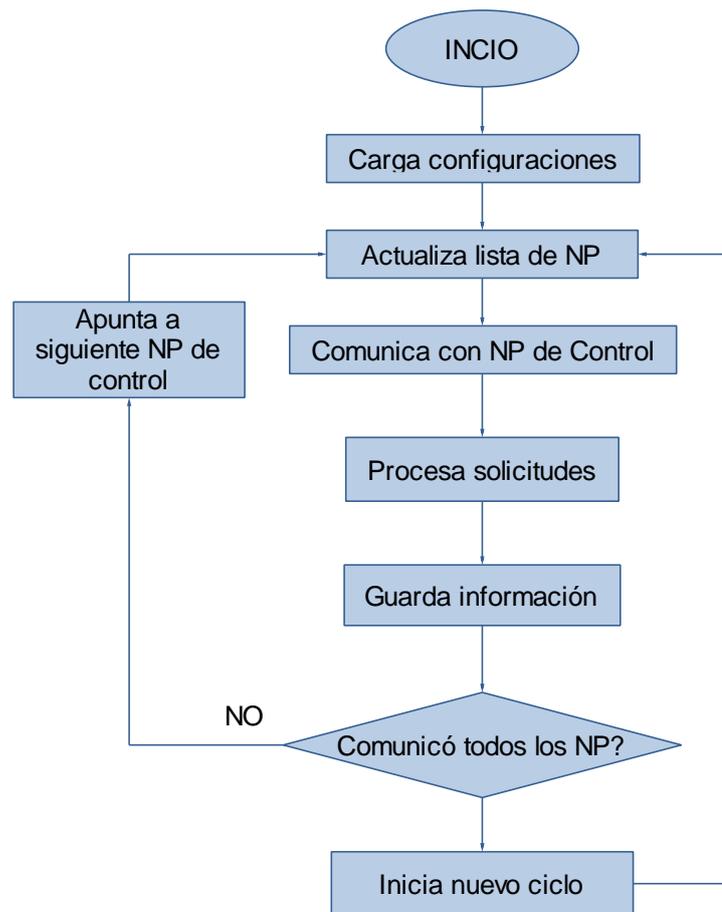


Figura 3.12: Diagrama de flujo del funcionamiento del nodo padre

Fuente: Autor

El sistema empieza cargando las configuraciones programadas del nodo de almacenamiento. La lista de nodos de control es actualizada y se establece una comunicación directa con cada uno de los NP de control, el envío de datos es uno por uno. Estas solicitudes o datos son procesados y almacenados en el nodo padre de almacenamiento tal como se muestra en la figura 3.13 un diagrama de flujo del envío y almacenamiento de los datos

por parte del NP de almacenamiento. Realizado este proceso el nodo de almacenamiento tiene la condición de verificar si se comunicó con todos los NP de control, en caso de no haberse comunicado con alguno este apunta una conexión con el siguiente NP de control. De haberse comunicado con todos este inicia un nuevo ciclo y actualiza nuevamente la lista de los NP de control.

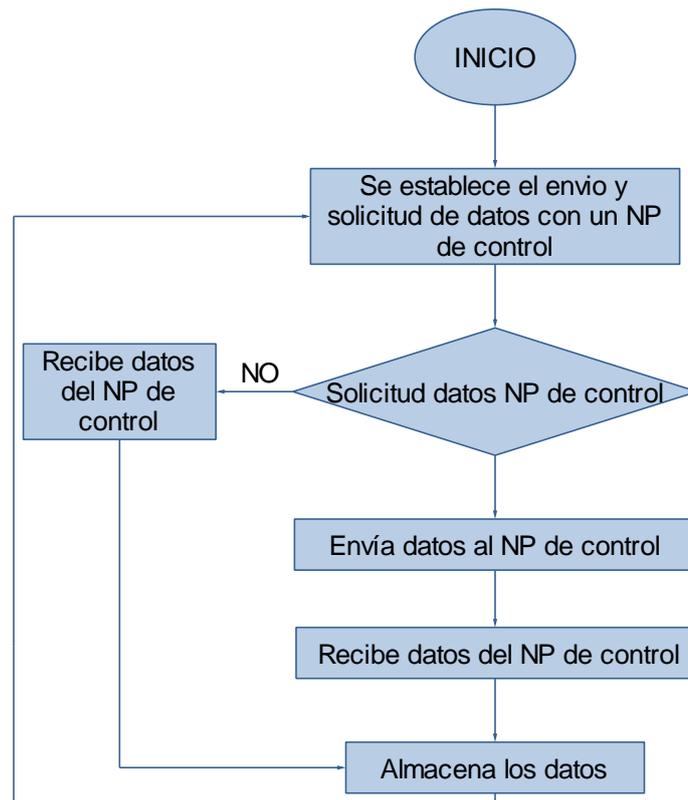


Figura 3.13: Diagrama de flujo de solicitud de procesos NP almacenamiento

Fuente: Autor

La figura 3.13 muestra un diagrama de flujo simple de la transferencia de datos entre el NP de almacenamiento y un NP de control, el mismo que se describe en breve. La comunicación esta lista para la solicitud de procesos de transferencia de datos, pero se establece una condición cuando el NP de control solicita datos almacenados. En caso de necesitar información se la envía y luego recibe datos del NP de control, por otro lado si no necesita información, este solo envía datos al NP de almacenamiento. Cualquiera que sea el caso, todo los datos se almacenan en una base de datos, realizada

esta operación nuevamente se inicia una nueva solicitud de comunicación con un NP de control.

En la figura 3.14 se muestra el circuito esquemático de la implementación del NP de almacenamiento. En esta se muestra el módulo ESP8266 conectada a una pantalla grafica SDD 1306 de 128x64 y a un lector de tarjetas micro SD, en este se almacenaran los datos del sistema, en breve se detalla las conexiones de cada uno de ellos:

Conexión ESP8266 - Pantalla grafica SDD 1306

- GND - GND
- 3V3 - VCC
- SCL - D1
- SDA - D2

Conexión ESP8266 - Lector micro SD

- GND - GND
- 3V3 - VCC
- D6 - MOSO
- D7 - MOSI
- D5 - SCK
- D8 – CS

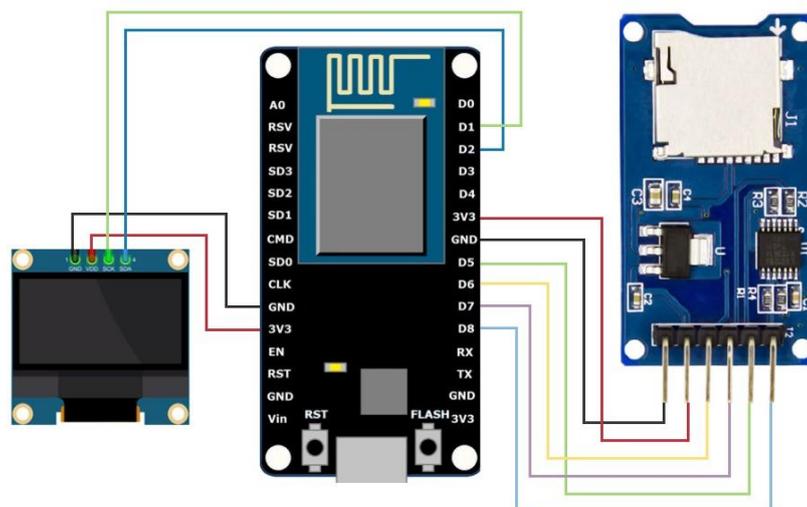


Figura 3.14: Circuito esquemático “Implementación NP de almacenamiento”

Fuente: Autor

En la figura 3.15 se aprecia una foto del circuito implementado del nodo o agente de almacenamiento. El módulo ESP8266 es el elemento central de este agente, el cual dispone de comunicación wifi que le permite comunicarse con los agentes de control. La alimentación del circuito se la hace a través de una fuente de 5 V, y del mismo modulo, se energiza la pantalla OLED SD1306. La pantalla provista en el circuito, permite observar los procesos que se desarrollan en el agente y la interacción con los agentes de control. Finalmente se observa un módulo para lectura escritura de tarjetas MicroSD, que dispone el agente de almacenamiento, donde se almacenan todos los valores del sistema, y desde el cual, también se proporciona información a quien lo solicite.

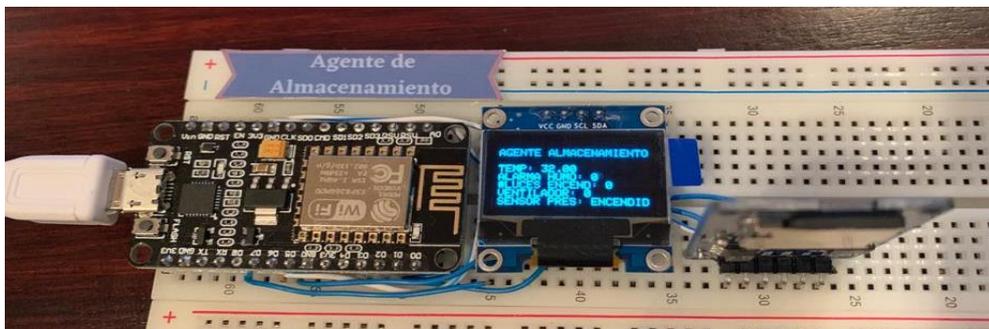


Figura 3.15: Prototipo del agente de almacenamiento

Fuente: Autor

3.5.2. Diseño del firmware para los Nodos padre de control

Los nodos padres de control o agentes de control son los encargados de su propio subsistema que disponen de sensores/actuadores, que son controlados por los nodos hijos (Mendoza et al., 2020). Estos tendrán la tarea de enviar datos al nodo de almacenamiento o solicitar datos al nodo de almacenamiento para realizar alguna tarea.

En la figura 3.16 se muestra el diagrama de flujo de funcionamiento del nodo de control, el mismo que se describe en breve:

El sistema inicia cargando las configuraciones programadas del NP de control. La lista de nodos hijos se actualiza y carga solicitudes, el NP de control envía solicitud de comunicación al NP de almacenamiento. Si el nodo

de almacenamiento no responde, este notifica en su sistema como dato no enviado y continúa su comunicación con sus nodos hijos. En cambio si el NP de almacenamiento responde, este establece una comunicación de procesos de solicitudes de transferencia de datos entre ambos, tal como se muestra en la figura 3.17. Luego el NP de control continúa con la comunicación con sus nodos hijos, este procesa sus solicitudes y verifica que se comunicó con todos, en caso de no hacerlo, este apunta al siguiente e inicia una comunicación. Una vez que se comunica con todos, este inicia un nuevo ciclo e inicia nuevamente su solicitud de comunicación con el NP de almacenamiento.

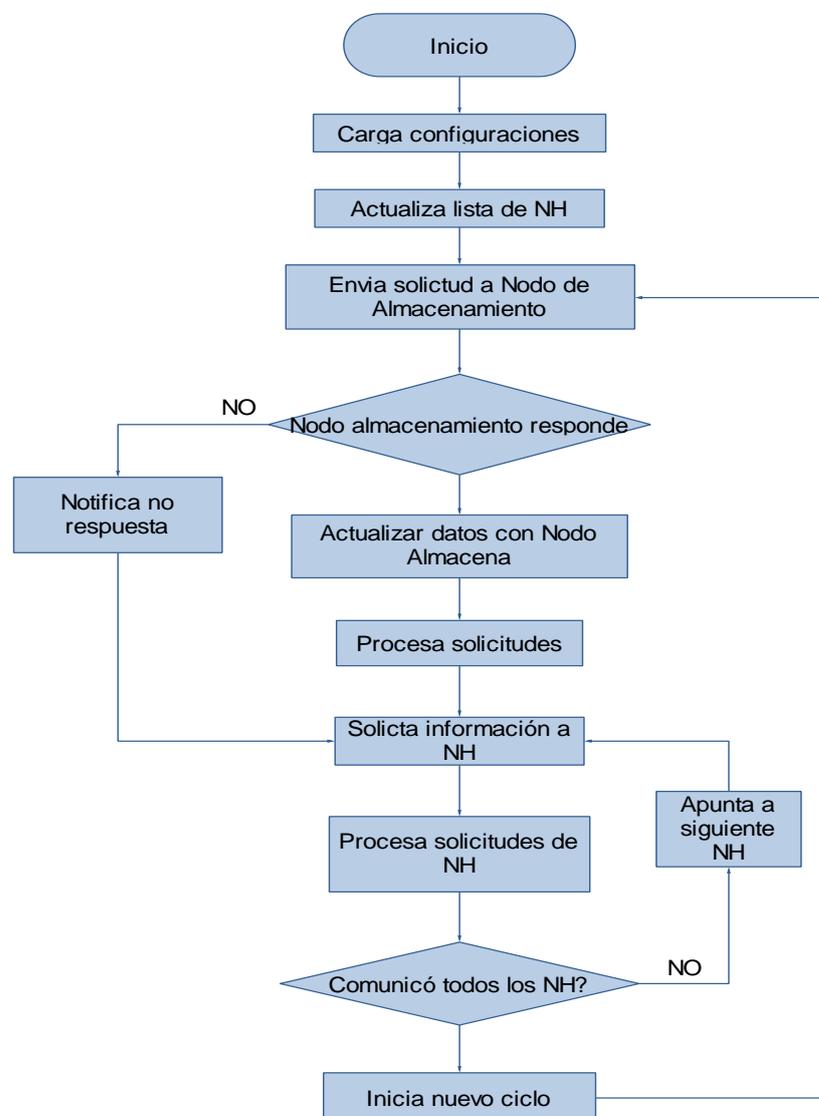


Figura 3.16: Diagrama de flujo de funcionamiento del nodo de control

Fuente: Autor

En la figura 3.17 se muestra un diagrama de flujo simple de la transferencia de datos entre un NP de control y el NP de almacenamiento, a continuación se describe este diagrama. Ambos nodos establecen una comunicación, pero existe una condición de solicitud de datos al NP de control. En caso de necesitar información el NP de control, este recibe los datos y envía datos al NP de almacenamiento. En cambio si no necesita datos, este solo envía datos al NP de almacenamiento. Cualquiera de las dos condiciones, el NP de control se comunica con sus nodos hijos e inicia una nueva solicitud de datos con el NP de almacenamiento.

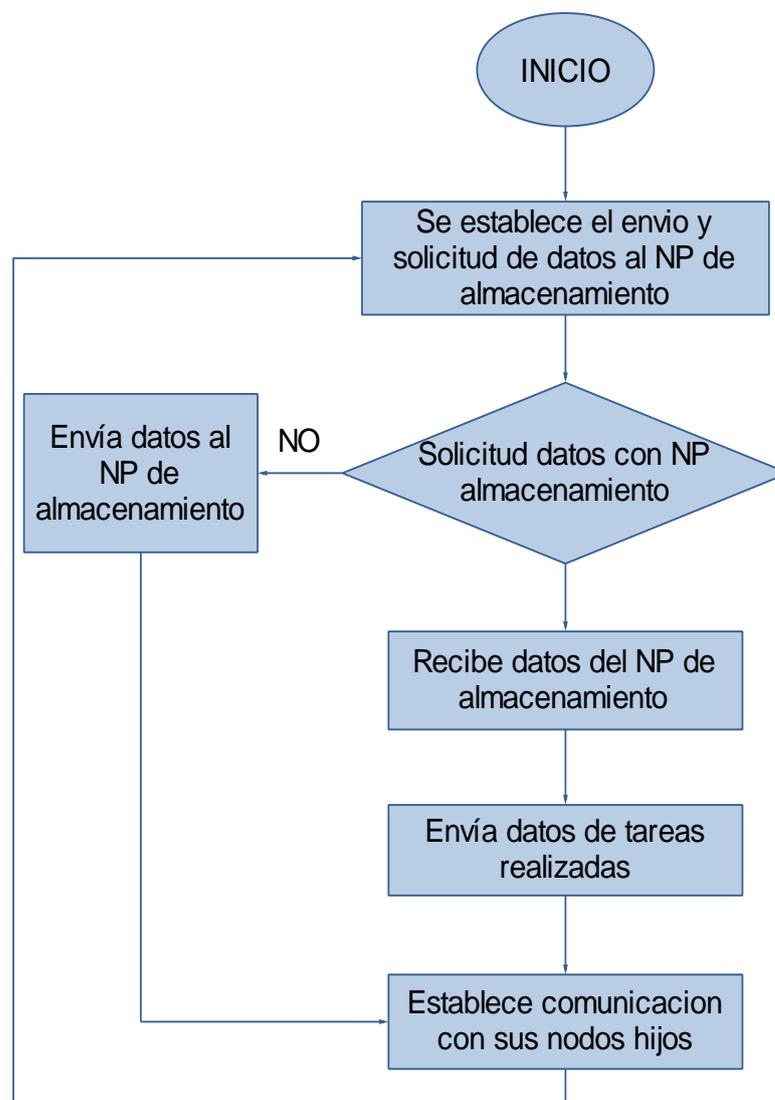


Figura 3.17: Diagrama de flujo de solicitud de procesos NP control

Fuente: Autor

En la figura 3.18 se muestra el circuito esquemático de la implementación de un NP de control. En esta figura se muestra el módulo ESP8266 conectada a una pantalla grafica SDD 1306 de 128x64, en esta pantalla visualizara los datos de uno de sus subsistemas, en breve se detalla las conexiones de cada uno de ellos:

Conexión ESP8266 - Pantalla grafica SDD 1306

- GND - GND
- 3V3 - VCC
- SCL - D1
- SDA - D2

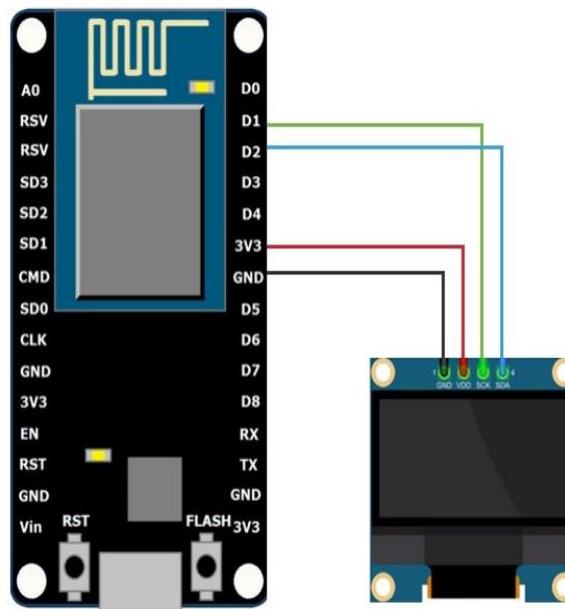


Figura 3.18: Circuito esquemático "Implementación NP de control"

Fuente: Autor

En la figura 3.19 se muestran los agentes cinco agentes de control, estos están compuestos por un módulo microcontrolador ESP8266 Wi-Fi conectado a una pantalla grafica oled para monitorear los valores en tiempo real, estos agentes tienen la función de conectarse con el agente de almacenamiento y enviar sus datos de las tareas realiza, en caso de requerir un dato para realizar una tarea, estos datos son enviados por el agente de almacenamiento. En la figura 3.20 se muestra el agente de confortabilidad como ejemplo en representación de todos los agentes de control del sistema.

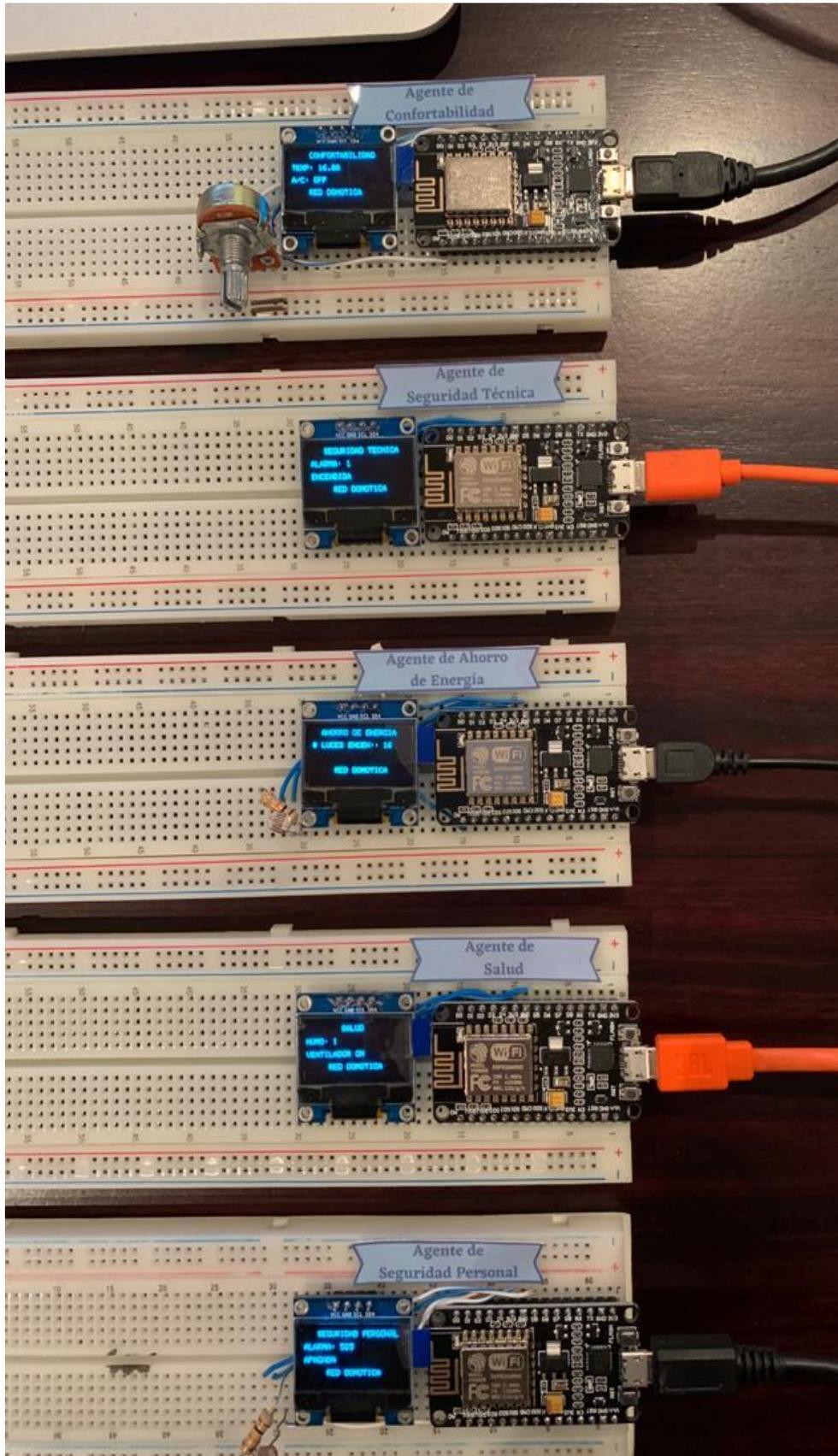


Figura 3.19: Agentes de control del sistema domótico
Fuente: Autor



Figura 3.20: Agente de confortabilidad

Fuente: Autor

3.5.3. Diseño de la interfaz de técnico/usuario

El interfaz de técnico/usuario nos permite tener una comunicación con el sistema, es decir desde esta interfaz podemos configurar el sistema. Todos los NP son programados previamente a su uso, pero nuestro puerto de comunicación será con el nodo de almacenamiento ya que este es el encargado de almacenar todos los datos obtenidos de cada uno de los nodos de control.

En la figura 3.21 se muestra el diagrama de flujo del uso de la interfaz de técnico/usuario, desde esta interfaz se puede monitorear todos los datos que llegan al NP de almacenamiento y los mismos son almacenados en una tarjeta micro SD, en breve se describe la interacción de la interfaz con el técnico/usuario. El técnico/usuario establece una conexión entre el NP de almacenamiento y un ordenador mediante cable USB, ingresa a la interfaz de datos y configuraciones donde tiene acceso a todo el sistema. Desde la interfaz obtiene los datos almacenados y realiza una prueba de funcionamiento del sistema para encontrar problemas. En caso de no existir problemas el técnico respalda los datos almacenados y reinicia el sistema para su funcionamiento, por otro lado si este presenta problemas lo corrige y realiza nuevamente pruebas de funcionamiento para comprobar que el problema fue solucionado. Cuando el problema es solucionado, los datos almacenados son respaldados y el sistema es reiniciado para su

funcionamiento. Luego de esto el técnico/usuario finaliza su interacción con el sistema.

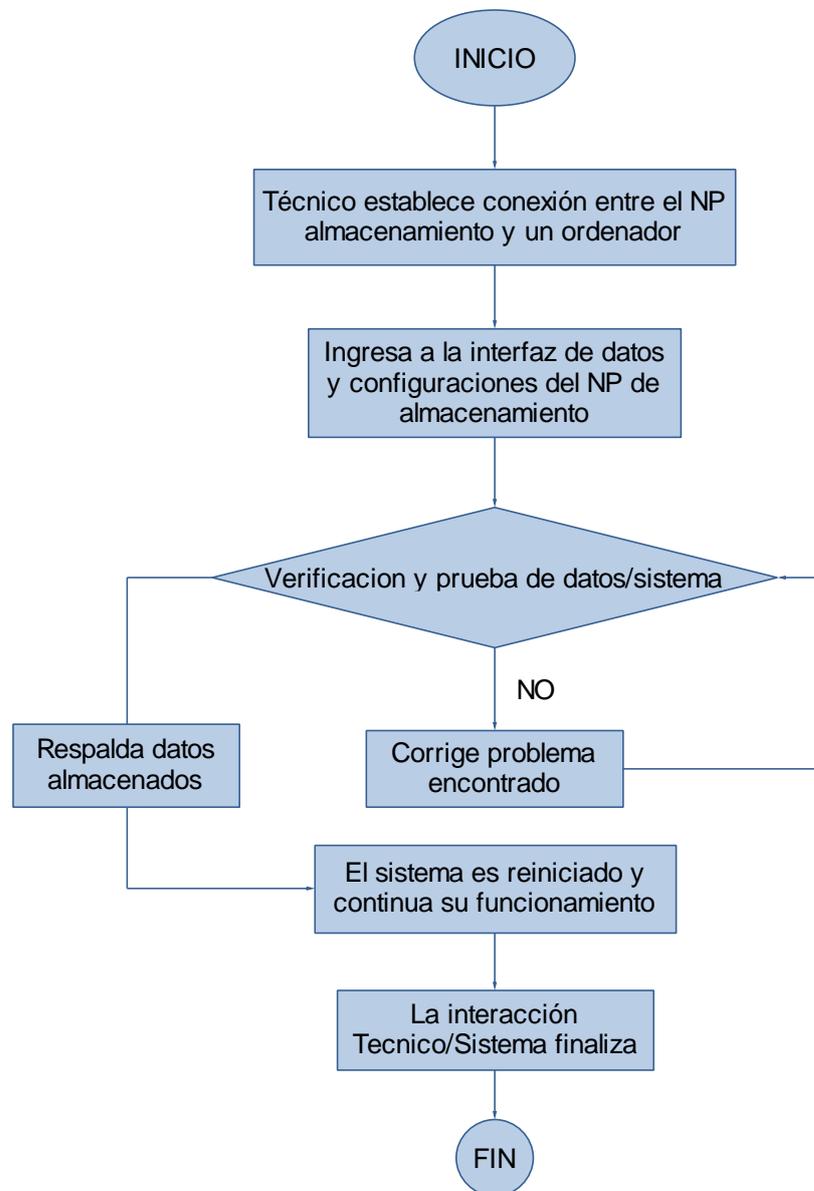


Figura 3.21: Diagrama de flujo de interfaz de técnico/usuario

Fuente: Autor

En la figura 3.22 se muestra la interfaz gráfica del técnico/usuario, donde se puede ver los datos enviados en tiempo real, también se observa el agente de almacenamiento conectado al ordenador vía USB.

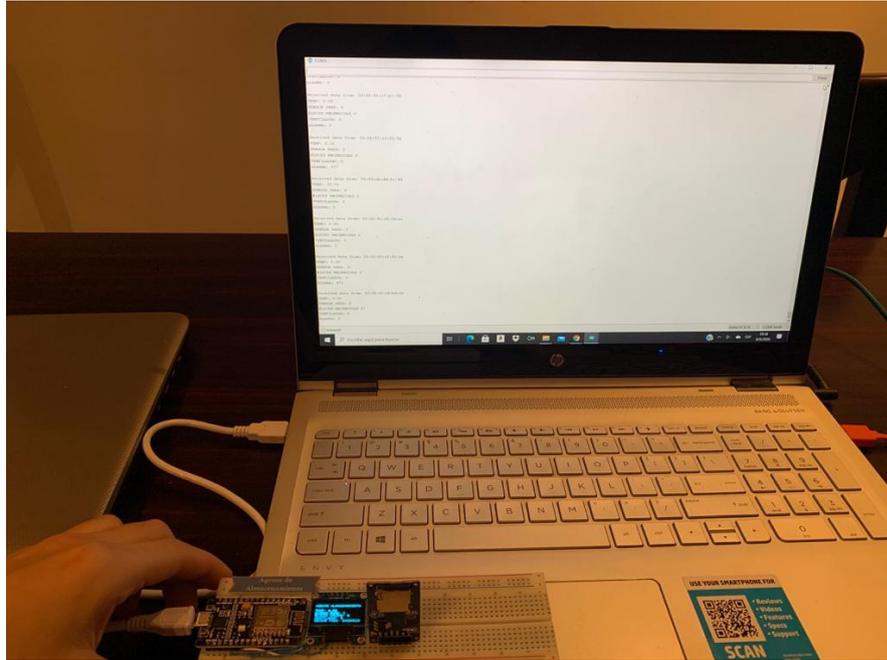


Figura 3.22: Interfaz de técnico/usuario

Fuente: Autor

3.6. Pruebas de funcionamiento del sistema

Las pruebas de funcionamiento experimental del prototipo implementado permiten diagnosticar si el sistema cumple con las funciones determinadas que se planteó en el problema de investigación. En este subcapítulo se desarrolla diferentes pruebas que permiten comprobar las funciones básicas descritas al inicio del actual capítulo.

3.6.1. Pruebas de precisión en la comunicación (pedidas de paquetes de datos)

Objetivo de la prueba realizada: Permite determinar el número de solicitudes de lectura (SL) pérdidas o sin enlace en la red.

Variables: Número de solicitudes de lectura perdidas en la red, número de perdida de datos.

Desarrollo de la prueba experimental: Con un nodo de almacenamiento y cinco nodos de control. Se puso a la red en funcionamiento, enviando datos por parte de cada uno de los nodos de control. Para ello se distribuyó a los nodos con distancias entre 3 a 15 metros (con obstáculos) desde el nodo de almacenamiento, siendo así se obtuvo cinco diferentes resultados desde

cada uno de ellos. Para la visualización de los datos se conectó un ordenador al nodo de almacenamiento y otro ordenador al nodo de control, para obtener la cantidad de datos enviados y recibidos por parte de cada uno.

Análisis y toma de resultados:

- Nodo control (15 metros): En esta prueba se realizó un total de 2476 datos enviados y se obtuvo un total de 275 datos perdidos. Teniendo un 11.10% de datos perdidos.

$$\%SLperdid\text{as} = \frac{275SLperdid\text{os}}{2476SLenviad\text{os}} * 100\% = 11.10\%$$

- Nodo control (12 metros): En esta prueba se realizó un total de 835 datos enviados y se obtuvo un total de 90 datos perdidos. Teniendo un 11.10% de datos perdidos.

$$\%SLperdid\text{as} = \frac{90SLperdid\text{os}}{835SLenviad\text{os}} * 100\% = 10.77\%$$

- Nodo control (10 metros): En esta prueba se realizó un total de 865 datos enviados y se obtuvo un total de 43 datos perdidos. Teniendo un 4.97% de datos perdidos. Con esta prueba se puede comprobar nuestra hipótesis se cumple, al obtener una pérdida de datos no mayor al 5% a distancias de 10 metros con obstáculos.

$$\%SLperdid\text{as} = \frac{43SLperdid\text{os}}{865SLenviad\text{os}} * 100\% = 4.97\%$$

- Nodo control (7 metros): En esta prueba se realizó un total de 918 datos enviados y se obtuvo un total de 19 datos perdidos. Teniendo un 2.07% de datos perdidos.

$$\%SLperdid\text{as} = \frac{19SLperdid\text{os}}{918SLenviad\text{os}} * 100\% = 2.07\%$$

- **Nodo control (5 metros):** En esta prueba se realizó un total de 1069 datos enviados y se obtuvo un total de 3 datos perdidos. Teniendo un 0.28% de datos perdidos.

$$\%SL_{perdidas} = \frac{3SL_{perdidos}}{1069SL_{enviados}} * 100\% = 0.28\%$$

Resultados: En la figura 3.23 se muestra un gráfico estadístico donde representa el porcentaje de %SL perdidos Vs la distancia de cada uno de los nodos de control, donde se obtiene un total de cinco porcentajes de pérdida de datos, teniendo como resultado que la red implementada es eficiente a distancias de 10 metros con obstáculos, desde el nodo de almacenamiento al nodo de control.

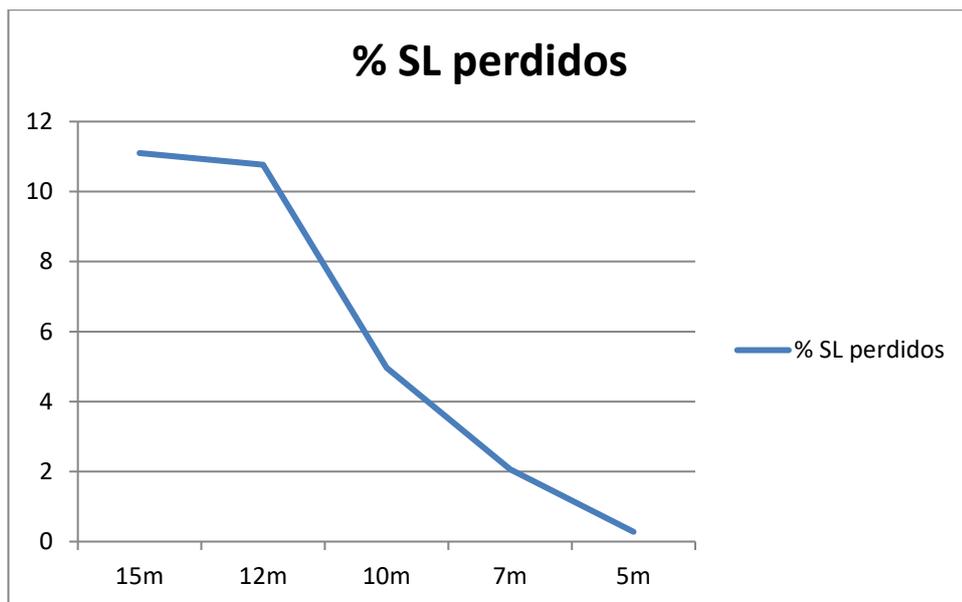


Figura 3.23: Estadística de SLperdidos vs. SLenviados

Fuente: Autor

3.6.2. Tiempo de respuesta de la comunicación

Objetivo de la prueba realizada: Realizar pruebas y obtener el tiempo de respuesta de solicitudes de lectura enviada al nodo de almacenamiento.

Variables: Tiempo

Desarrollo de la prueba experimental: Con un nodo de almacenamiento y cinco nodos de control. Se puso a la red en funcionamiento, enviando datos por parte de cada uno de los nodos de control. Para ello se distribuyó a los nodos con distancias entre 3 a 15 metros (con obstáculos) desde el nodo de almacenamiento, siendo así se obtuvo cinco diferentes resultados desde cada uno de ellos. Para la visualización de los datos se conectó un ordenador al nodo de almacenamiento y otro ordenador al nodo de control, para obtener el tiempo de emisión y recepción de datos.

Análisis y toma de resultados: Los resultados obtenidos de esta prueba fueron exitosos ya que el tiempo de retardo de la toma de lectura de datos es mínima, y se podría considerar una red eficiente. En breve se muestra la tabla 3.3 que corresponde al tiempo de emisión/recepción de los datos.

Tabla 3.3: Tiempo de emisión/recepción de datos (Autor)

Emisor	Hora de emisión	Hora de recepción	Diferencia/segundos
15m	01:59:08.874	01:59:09.510	0.636s
12m	02:45:35.380	02:45:35.998	0.618s
10m	15:27:15.055	15:27:15.569	0.514s
7m	17:12:17.786	17:12:17.865	0.079s
5m	16:19:29.250	16:19:29.317	0.067s
3m	14:48:23.581	14:48:23.584	0.003s

Resultados: según la monitorización de emisión/recepción de lectura de datos, el mayor retraso de tiempo fue de (0.636 segundos). Se podría decir que este tipo de comunicación se tiene una red bastante eficiente.

3.6.3. Pruebas de cobertura

Objetivo de la prueba realizada: Realizar pruebas y obtener el alcance máximo de enlace de comunicación entre el NP de almacenamiento y los NP de control, pero interponiendo obstáculos como una pared de cemento y esta resulte un porcentaje mayor al 95% de precisión en él envió de datos, de tal manera no se considera resultados de pruebas de distancias inferiores al 85% de precisión.

Variabes: Distancia entre puntos de enlace, numero de lecturas erróneas, precisión de envío de datos.

Desarrollo de la prueba experimental:

Con un nodo de almacenamiento y cinco nodos de control. Se puso a la red en funcionamiento, enviando datos por parte de cada uno de los nodos de control. Para ello se distribuyó a los nodos con distancias entre 3 a 15 metros (con obstáculos) desde el nodo de almacenamiento, siendo así se obtuvo cinco diferentes resultados desde cada uno de ellos. Para la visualización de los datos se conectó un ordenador al nodo de almacenamiento y otro ordenador al nodo de control, para obtener el número de envío y lectura de datos.

Análisis y toma de resultados: Los resultados obtenidos de esta prueba fueron eficientes, en breve se muestra la tabla 3.4 que corresponde a la distancia y el porcentaje de eficiencia de cobertura de red.

Tabla 3.4: Estadística de pruebas de distancia entre NP (Autor)

Distancia (m)	% precisión
15	88.9%
12	89.23%
10	95.03%
7	97.93%
5	99.72%

Resultados: Según la monitorización de emisión/recepción de lectura de datos, tomada a diferentes distancias. Da como resultado que la distancia para una red eficiente es de 10 metros, ya que esta obtuvo un porcentaje de 95.03% de precisión. Cumpliendo con nuestras consideraciones iniciales del trabajo de investigación.

CAPITULO IV PRESENTACION Y DISCUSION DE RESULTADOS

Este capítulo presenta los resultados obtenidos sobre el trabajo de investigación, demostrando que todos los aspectos del capítulo I se cumplen con estos resultados.

4.1 Presentación de resultados

En este apartado se presenta los resultados obtenidos en base a la elaboración del estado del arte, las arquitecturas utilizadas en el sistema, los diagramas de modelado UML, resultados de la implementación y las pruebas experimentales del sistema.

4.1.1 Resultados del estado de arte

Para elaborar el estado del arte se realizó una amplia búsqueda bibliográfica que permitió encontrar aportes actuales de gran nivel en la literatura científica, relacionada con arquitecturas domóticas y redes de comunicación inalámbrica, aunque en lo relacionado a agentes inteligentes, no se ha encontrado sistemas que utilicen estas tecnologías. Al existir un bajo número de artículos relacionados a agentes inteligentes, se propone establecer este trabajo de investigación enfocado a la comunicación inalámbrica entre agentes inteligentes aplicado a un sistema domótico.

4.1.2 Resultados de la arquitectura

La arquitectura diseñada para este trabajo es basada en la topología ESP-NOW con distribución jerárquica entre sus nodos, esto fue de gran ayuda para comprender su estructura y distribución. Se diseñó varias tipos de arquitecturas como:

- Arquitectura domótica: Está conformada por los NP de almacenamiento y de control, lo cual permitió comprender la distribución entre los NP.
- Arquitectura de control domótico: Esta arquitectura consta de cinco niveles, permitiendo comprender como se encuentra distribuido el

orden y control del sistema domótico en un rango de superior a inferior.

- Arquitectura de la red domótica: Esta arquitectura demuestra cómo es la conexión entre los agentes de control y el agente de gestión de almacenamiento. Lo que permitió comprender que la conexión es directa entre cada uno de los agentes de control con el agente de almacenamiento. Por otra parte los agentes de control se comunican con su subsistema de sensores/actuadores que son controlados por los nodos hijos.

4.1.3 Resultados del modelado UML

Los diagramas UML fueron de gran ayuda comprender el funcionamiento del sistema y obtener un modelado correcto. En breve se describe los modelados UML utilizados:

- Diagramas de casos de uso: Los diagramas de caso de uso UML fueron de gran ayuda para comprender la interacción que existe de todos los usuarios o actores con cada parte del sistema.
- Diagramas de secuencia: Los diagramas de secuencia UML ayudó a comprender el funcionamiento del sistema en interacción con los actores que intervienen en este.
- Diagramas de estados: Los diagramas de estados UML ayudó a identificar los pasos específicos para cumplir con el proceso de funcionamiento del sistema.

4.1.4 Resultado de la implementación

La implementación del sistema fue de gran ayuda para verificar el funcionamiento del nodo de almacenamiento, nodos de control y la interfaz del técnico/usuario. Para ello se realizó diagramas de flujo y poder comprender su correcto funcionamiento. Gracias a esto se elaboró prototipos en placas didácticas de cada uno de los agentes que intervienen en el sistema, de esta manera se logró comprobar el funcionamiento de la red de comunicación establecida, logrando obtener un diseño de prototipo e interfaz de técnico/usuario bastante agradable y se estableció una comunicación inalámbrica entre los agentes inteligentes.

4.1.5 Resultados de las pruebas de experimentación

En este apartado se muestra los resultados obtenidos de las pruebas experimentales que se realizan entre la comunicación de los NP del sistema:

- Se obtuvo una pérdida de datos del 4.97%, siendo este el límite de porcentaje de nuestras consideraciones iniciales.
- El tiempo máximo de respuesta de un dato enviado fue de (0.636 segundos).
- La distancia de 10 metros es una distancia óptima para que el sistema tenga un funcionamiento mayor al 95.3% de precisión.

4.2. Discusión de resultados

En este apartado se muestra los resultados obtenidos sobre las funciones y características que tiene como objetivo planteado este trabajo de investigación, se verifica si se encontró la solución al problema y si la hipótesis planteada se estableció o no. De este modo se verifica si el sistema es viable a utilizarse en sistemas domóticos.

4.2.1. Cumplimiento de las funciones del sistema

El sistema logro establecer una comunicación estable entre los agentes inteligentes, con la ayuda de diseño de arquitecturas, modelado UML e implementación, se pudo comprobar lo siguiente:

- El NP de almacenamiento se estableció como nodo de gestión, lo cual se encarga de comunicarse con cada uno de los NP de control.
- La red es estable y cumple con los requisitos de cobertura de una vivienda unifamiliar, con distancia de 10 metros con obstáculos entre los NP.
- El NP de almacenamiento se encarga de recibir datos de todos los NP de control y almacenarlos
- El NP de almacenamiento comparte datos de otros NP de control en caso de que algún otro NP de control necesite datos para realizar una tarea de su propio subsistema.
- Los NP de control envían todos sus datos al NP de almacenamiento.

- Los NP de control logran visualizar en sus pantallas graficas los datos obtenidos de los sensores/actuadores de sus propios subsistemas.
- Los NP de control se encargan de su propio subsistema de sensores/actuadores.
- Los datos enviados a distancia de más de 10 metros fueron eficaces.
- El sistema logra cumplir con todas las expectativas.

4.2.2. Cumplimiento de los Objetivos

En esta sección se analiza si los objetivos planteados fueron cumplidos y definidos correctamente para el desarrollo del trabajo de investigación.

4.2.2.1 Cumplimiento del objetivo general

Se logró cumplir el objetivo general, ya que se pudo estudiar, diseñar e implementar el diseño de comunicación de una red inalámbrica para agentes inteligentes basada en módulos de comunicación Wi-Fi. Con este estudio se comprueba que el diseño de arquitectura, el modelado UML, la implementación y experimentación del sistema fueron de gran ayuda para obtener estos resultados.

4.2.2.2 Cumplimiento de objetivos específicos

- Se logró diseñar una arquitectura multi-agente, ya que se elaboraron varios tipos de arquitecturas distribuidas jerárquicamente. Obteniendo resultados eficaces e implementar estos sistemas de comunicación a los sistemas domóticos
- Se logró establecer una red inalámbrica eficiente para sistemas domóticos, gracias a las pruebas obtenidas se obtuvo que la cobertura es buena para viviendas unifamiliares, e inclusive estos sistemas se podrían implementar en otras áreas como: riego de sembríos, control de alimento avícola, previo a un estudio de cobertura.
- Las pruebas experimentales fueron eficientes a lo planteado, se logró establecer un correcto funcionamiento de toda la red de comunicación del sistema domótico.

Los objetivos tanto general como específicos fueron de gran aporte para el desarrollo de este trabajo investigativo.

4.2.3. Hipótesis

La hipótesis fue resuelta y se cumplió con lo esperado, se logró desarrollar una red inalámbrica de bajo costo para la comunicación Wi-Fi de agentes inteligentes, obteniendo una cobertura de hasta 10 metros con obstáculos entre los nodos y una pérdida de datos menor a 5%.

4.2.4 Problema de investigación

¿Es posible implementar una comunicación eficiente entre agentes inteligentes de control en un sistema domótico, alojados en sistemas embebidos, utilizando módulos Wi-Fi de bajo costo?

Si es posible, se logró implementar una red inalámbrica para la comunicación eficaz entre agentes inteligentes orientado a un sistema domótico, para ello se utilizó módulos microcontroladores ESP8266 que son de bajo costo y tienen una fácil programación en lenguaje C mediante el programa Arduino. Estos prototipos de red inalámbrica podrían ser utilizada en otros entornos previo a un estudio de cobertura y dependiendo de las tareas que se deban cumplir en aquel entorno.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En esta sección se presentan las conclusiones y recomendaciones que se obtuvieron al finalizar el desarrollo del presente trabajo de investigación y luego del análisis respectivo. AL final de este acápite se muestra líneas de investigación recomendadas como consecuencia de los resultados alcanzados y que se consideran como trabajos futuros relacionados a este tema.

5.1. CONCLUSIONES

- Los agentes inteligentes son un paradigma de la inteligencia artificial distribuida que se ajusta a las exigencias de la domótica actual y que permite articularse o evolucionar hacia la nueva tendencia del internet de las cosas.
- La utilidad del modelado de UML queda demostrado en los diagramas utilizados, que han permitido describir el sistema desde sus requisitos funcionales hasta la dinámica de las interacciones a través de los diagramas UML.
- La arquitectura establecida para la red inalámbrica propuesta funciona de forma adecuada, permitiendo una comunicación fluida entre los diferentes agentes de control del sistema.
- La topología utilizada ESP-NOW, que utiliza la interacción maestro-esclavo, reduce las colisiones de mensajes en el canal inalámbrico de forma significativa, mejora los tiempos de respuesta y permite una mayor flexibilidad de la red, adaptando una cantidad de hasta 10 módulos (nodos padres).
- Las implementaciones del sistema utilizando la tecnología Wi-Fi, permite una gran flexibilidad y velocidad de transmisión de la información en el sistema que sumado al bajo costo de los módulos

de comunicación, se proyectan como una opción muy viable para el diseño de sistemas domóticos inteligentes.

5.2. RECOMENDACIONES

- La elaboración de los diagramas de UML, disponen de un lenguaje grafico muy bien definido, que debe ser respetado, para que sea adecuadamente entendido por el lector interesado, por lo cual se recomienda el uso de programas software para UML que incluyen todos los símbolos e interacciones de este lenguaje
- El uso de módulos de comunicación como los utilizados en este trabajo son de mucha utilidad, no solo por su bajo costo, sino porque disponen de mucha ayuda en internet y además son dispositivos que disponen de muchos recursos y elevada capacidad de procesamiento.
- El uso adecuado del lenguaje de programación CC++ es fundamental para el desarrollo del código de programación que permita que el modelado elaborado pueda implementarse correctamente, permitiendo reducir los errores debido a problemas lógicos
- Es importante definir sistemáticamente el proceso de pruebas experimentales de los dispositivos, siguiendo métodos formales, que permitan obtener resultados que cumplan normas establecidas por el método científico, para demostrar su validez.

5.3. Trabajo futuro

Luego de finalizado la investigación, el panorama se amplía significativamente, no solo por los resultados alcanzados, sino por la revisión del estado del arte, que permite visualizar la tendencia del tema estudiado, que se orientan por los sistemas multi-agentes, inteligencia artificial e internet de las cosas, aplicado a arquitecturas distribuidas jerárquicas y heterárquicas, para el diseño de sistemas domóticos inteligentes.

Bibliografía

802.11-2007—IEEE Standard for Information Technology—

Telecommunications and Information Exchange Between Systems—
Local and Metropolitan Area Networks—Specific Requirements—Part
11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer
(PHY) Specifications—IEEE Standard. (s/f). Recuperado el 9 de julio
de 2020, de <https://ieeexplore.ieee.org/document/4248378>

Aakvaag, N., & Frey, J.-E. (2006). Redes de sensores inalámbricos.

Aguilar, Jose, Bessembel, I., Cerrada, M., Hidrobo, F., & Narciso, F. (2008).

Una Metodología para el Modelado de Sistemas de Ingeniería
Orientado a Agentes. *Inteligencia artificial: Revista Iberoamericana de
Inteligencia Artificial*, ISSN 1137-3601, N°. 38, 2008, pags. 39-60.

Aguilar, José, BOLIVAR, A. R., Hidrobo, F., & Cerrada, M. (2012). *Sistemas
MultiAgentes y sus Aplicaciones en Automatización Industrial*.

Aguilar, José, Prato, F., Bravo, C., & Rivas, F. (2009). A MULTI-AGENT
SYSTEM FOR THE MANAGEMENT OF ABNORMAL SITUATIONS
IN AN ARTIFICIALLY GAS-LIFTED WELL. *Applied Artificial
Intelligence*, 23(5), 406–426.

<https://doi.org/10.1080/08839510902872256>

Aguilar, Jose, Rios, A., Hidrobo, F., & Cerrada, M. (2013). *Sistemas
MultiAgentes y sus Aplicaciones en Automatización Industrial
(Segunda Edición)*. Universidad de Los Andes.

Alvear, S. (2020). Sistema de supervisión inteligente para un subsistema de
filtración en una planta potabilizadora de agua. UCSG.

- Bravo, C., Aguilar, J., Ríos, A., Aguilar-Martin, J., & Rivas, F. (2011).
Arquitectura Basada en Inteligencia Artificial Distribuida para la
Gerencia Integrada de Producción Industrial. *Revista Iberoamericana
de Automática e Informática Industrial RIAI*, 8(4), 405–417.
<https://doi.org/10.1016/j.riai.2011.09.013>
- Capaña, S., Cabrera, H., & Cervelion, A. (2019). Las redes de sensores
inalámbricas, arquitectura y aplicaciones. En *Redes de Sensores
Inalambricas (WSN) Caso de Aplicación*. Libros Universidad Nacional
Abierta Y a Distancia.
<https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/book/article/view/3191>
- Díaz, A. T., & Álvarez, J. R. V. (2014). Método para la definición y
verificación formal de protocolos para aplicaciones de control
domótico. *Revista Telemática*, 13(2), 22–31.
- Espressif. (2016). *ESP-IDF Programming Guide*.
<https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/index.html>
- Garbarino, J., & Echeverria, A. (2012). *Protocolos Para redes Inalambricas
de Sensores*. Editorial Academica Espa.
- Gill, K., Yang, S.-H., Yao, F., & Lu, X. (2009). A ZigBee-Based Home
Automation System. *Consumer Electronics, IEEE Transactions on*, 55,
422–430. <https://doi.org/10.1109/TCE.2009.5174403>
- Holger, K., & Andreas, W. (2005). *Protocols and Architectures for Wireless
Sensor Networks*.
- Huidobro, J., & Millan, R. (2006). *Domótica: Edificios Inteligentes*.
Creaciones Copyright.

- Huidrobo, J. (2006). Redes y servicios de telecomunicaciones. Paraninfo.
<https://books.google.com.mx/books?id=m58VnOVcApsC>
- Junestrand, S., Passaret, X., & Vázquez Daniel. (2005). Domótica y Hogar Digital. <https://www.paraninfo.es//catalogo/9788428328913/domotica-y-hogar-digital>
- Kimmel, P. (2008). Manual de UML. McGRAW-HILL INTERAMERICANA EDITORES, S.A. de C.V.
- Li, M., & Lin, H.-J. (2015). Design and Implementation of Smart Home Control Systems Based on Wireless Sensor Networks and Power Line Communications. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 62(7), 4430–4442. <https://doi.org/10.1109/TIE.2014.2379586>
- Liger, E. (2018). Análisis de un sistema basado en Microcontroladores para el control Inteligente de toma corrientes y lámparas en una vivienda, apoyado en sensores y actuadores de bajo costo [Universidad Católica de Santiago de Guayaquil].
<http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/10173>
- Lorente, S. (2004). Domótica integral. Análisis del entorno, Máster en Domótica, UPM.
- Martín Domínguez, H., & Sáez Vacas, F. (2006). Domótica: Un enfoque sociotécnico. Fundación Rogelio Segovia para el Desarrollo de las Telecomunicaciones.
- Mendoza, E., Fuentes, P., Israel, B., Reina, D., & Núñez, J. (2020). Red de sensores inalámbricos multisalto para sistemas domóticos de bajo costo y área extendida. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial*.

- Molina, L. (2010). Instalacion domóticas.
- Morales, G. (2011). La domótica como herramienta para un mejor confort, seguridad y ahorro energético. *Ciencia e Ingeniería*, 32, 39–42.
- Muñoz, M. (2020). Despliegue de una red de sensores basada en chips ESP-8266 [Info:eu-repo/semantics/masterThesis].
<https://eprints.ucm.es/59217/>
- Novas, D. (2008). Microcontroladores. ATLANTIC INTERNATIONAL UNIVERSITY.
- Palanca Cámara, J., Del Val Noguera, E., García-Fornes, A., Billhard, H., Corchado, J. M., & Julian Inglada, V. J. (2016). Designing a goal-oriented smart-home environment. *Information Systems Frontiers*, 1–18. <https://doi.org/10.1007/s10796-016-9670-x>
- Pau, G., & Salerno, V. M. (2019). Wireless Sensor Networks for Smart Homes: A Fuzzy-Based Solution for an Energy-Effective Duty Cycle. *Electronics*, 8(2), 131. <https://doi.org/10.3390/electronics8020131>
- Russell, S., & Norvig, P. (2008). *Inteligencia Artificial Un Enfoque Moderno (Segunda Edición)*. PEARSON EDUCACIÓN, S.A.
- Schmuller, J. (2000). *Aprendiendo UML en 24 Horas*. PEARSON EDUCACIÓN, S.A.
https://www.academia.edu/17124068/Aprendiendo_UML_en_24_Horas_Joseph_Schmuller
- Song, J., Han, S., Mok, A., Chen, D., Lucas, M., Nixon, M., & Pratt, W. (2008). WirelessHART: Applying Wireless Technology in Real-Time Industrial Process Control. *2008 IEEE Real-Time and Embedded*

Technology and Applications Symposium, 377–386.

<https://doi.org/10.1109/RTAS.2008.15>

Tosi, J., Taffoni, F., Santacatterina, M., Sannino, R., & Formica, D. (2019).

Throughput Analysis of BLE Sensor Network for Motion Tracking of Human Movements. *IEEE Sensors Journal*, 19(1), 370–377.

<https://doi.org/10.1109/JSEN.2018.2877102>

Triviño, R. (2018). Estudio de un sistema multiagente inteligente basado en microcontroladores de 32 bits aplicado a un sistema contraincendios para un laboratorio universitario. [Universidad Católica de Santiago de Guayaquil]. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/10271>

Ubach, C. (2017). Programando directamente un ESP8266. Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona.



Presidencia
de la República
del Ecuador



Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes



SENESCYT
Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Torres Romero, Gonzalo Fabián** con C.C: # 070427364-8 autor del Trabajo de Titulación: **Red Wi-Fi para la comunicación entre agentes inteligentes de un sistema domótico** previo a la obtención del título de **INGENIERO ELECTRÓNICO EN CONTROL Y AUTOMATISMO** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 14 de septiembre del 2020

f. _____

Nombre: Torres Romero, Gonzalo Fabián

C.C: 070427364-8



Presidencia
de la República
del Ecuador



Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes



SENESCYT
Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Red Wi-Fi para la comunicación entre agentes inteligentes de un sistema domótico.		
AUTOR(ES)	TORRES ROMERO, GONZALO FABIÁN		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	M. Sc. EDUARDO VICENTE MENDOZA MERCHÁN		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería Electrónica en Control y Automatismo		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero Electrónico en Control y Automatismo		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	14 de Septiembre del 2020	No. DE PÁGINAS:	103
ÁREAS TEMÁTICAS:	Sistemas Microcontroladores, Diseño Electrónico		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Agentes Inteligentes, Arquitectura Distribuida, UML, Domótica, Comunicación inalámbrica, Wi-Fi.		
RESUMEN/ABSTRACT	<p>En el presente trabajo de investigación se realiza un estudio sobre el diseño de una red de comunicación inalámbrica para agentes inteligentes, utilizando microcontroladores de 32 bits con conectividad Wi-Fi, aplicada a los sistemas domóticos para obtener una comunicación eficiente entre los agentes inteligentes de control, utilizando componentes de bajo costo. Para el desarrollo de la red de control se emplea una arquitectura distribuida jerárquica entre sus nodos, y el modelado se lo realiza utilizando diagramas UML, que describen el comportamiento del sistema y comprender el funcionamiento de la red de comunicación. La implementación de este sistema permite comprobar las funciones definidas y obtener resultados de eficiencia en las diferentes pruebas experimentales. Con la ayuda de las herramientas de diseño, modelado UML, desarrollo e implementación de esta red, se puede comprobar que la red de comunicación inalámbrica es estable, tiene cobertura suficiente para abarcar una vivienda unifamiliar, y una precisión en el envío/recepción de información superior al 95%, obteniendo resultados muy favorables en el desempeño del modelo de red propuesto.</p>		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593986783215	E-mail: gonzafa9630@hotmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN: COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE	Nombre: Palacios Meléndez, Edwin Fernando		
	Teléfono: +593-9-67608298		
	E-mail: edwin.palacios@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			