



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

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

**TEMA:**

**Arquitectura de gestión multi-agente para un sistema de control  
distribuido domótico**

**AUTORA:**

**Medina Lagos, Joselyne Arianna**

**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**

**8 de marzo del 2021**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

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

**CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **Medina Lagos, Joselyne Arianna**, como requerimiento para la obtención del título de **INGENIERO ELECTRÓNICO EN CONTROL Y AUTOMATISMO**.

**TUTOR**

---

**M. Sc. Mendoza Merchán, Eduardo Vicente**

**DIRECTOR DE LA CARRERA**

---

**M. Sc. Heras Sánchez, Miguel Armando**

Guayaquil, a los 8 días del mes de marzo del año 2021



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

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

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **Medina Lagos, Joselyne Arianna**

**DECLARO QUE:**

El Trabajo de Titulación, **Arquitectura de gestión multi-agente para un sistema de control distribuido 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 8 días del mes de marzo del año 2021

---

Medina Lagos, Joselyne Arianna



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

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

**AUTORIZACIÓN**

Yo, **Medina Lagos, Joselyne Arianna**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Arquitectura de gestión multi-agente para un sistema de control distribuido domótico**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 8 días del mes de marzo del año 2021

---

Medina Lagos, Joselyne Arianna

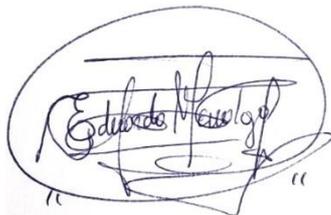
## REVISIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN CON PROGRAMA URKUND CARRERA DE ELECTRÓNICA EN CONTROL Y AUTOMATISMO

**TÍTULO:** “arquitectura de gestión multi-agente para un sistema de control distribuido domótico”

**AUTOR:** MEDINA LAGOS JOSELYNE ARIANNA

URKUND		Lista de fuentes	Bloques
<b>Documento</b>	<a href="#">2021-02-27 Tesis Joselyne Medina.docx</a> (D96722860)	<input type="checkbox"/> Categoría	<input type="checkbox"/> Enlace/nombre de archivo
<b>Presentado</b>	2021-02-27 09:25 (-05:00)	<input type="checkbox"/> [Barra]	<a href="#">2021-02-9 Tesis Joselyne Me...</a> <input type="checkbox"/>
<b>Presentado por</b>	eduardo.mendoza01@cu.ucsg.edu.ec	<input type="checkbox"/> [Barra]	<a href="#">2020-09-03 Tesis Gonzalo To...</a> <input type="checkbox"/>
<b>Recibido</b>	eduardo.mendoza01.ucsg@analysis.orkund.com	<input type="checkbox"/> [Barra]	<a href="#">2021-02-27 Tesis José Avalo...</a> <input type="checkbox"/>
<b>Mensaje</b>	Tesis Joselyne Medina <a href="#">Mostrar el mensaje completo</a> 1% de estas 53 páginas, se componen de texto presente en 1 fuentes.	<input type="checkbox"/> [Barra]	1598846583_387__T-UCSG-... <input type="checkbox"/>
		<input type="checkbox"/> [Barra]	<a href="#">Tesis-ANDRAMUÑO CANDO...</a> <input type="checkbox"/>
		<input type="checkbox"/> [Barra]	<a href="#">TESIS.docx</a> <input type="checkbox"/>
		<input type="checkbox"/> [Barra]	<a href="#">Tesis - Paúl Guadalupe.docx</a> <input type="checkbox"/>
		<input type="checkbox"/> [Barra]	<a href="#">TESIS FINAL.docx</a> <input type="checkbox"/>
		<input type="checkbox"/> [Barra]	<a href="#">2020-07-14 Tesis Gonzalo To...</a> <input type="checkbox"/>
		<input type="checkbox"/> [Barra]	<a href="http://www.dspace.uce.edu...">http://www.dspace.uce.edu...</a> <input type="checkbox"/>
		<input type="checkbox"/> Fuentes alternativas	
		<input type="checkbox"/> [Barra]	<a href="#">Tesis - José Avalos.docx</a> <input type="checkbox"/>
		<input type="checkbox"/> [Barra]	<a href="#">FUENTES PABLO FINAL.docx</a> <input type="checkbox"/>

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



---

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

## DEDICATORIA

*“A Dios por ser mi fortaleza espiritual, a mis padres por su esfuerzo y dedicación, a mi abuelita por su amor incondicional y a mi esposo por ser mi firme soporte”.*

*Joselyne Medina Lagos*

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por su amor inmensurable, por escuchar mis oraciones y derramar infinitas bendiciones sobre mi vida. A mi esposo Aaron, la promesa de Dios de amor infinito, por ser mi pilar fundamental, mi guía y mi compañero de vida. A mi mamá Katty por siempre creer en mí y ser mi fuente de inspiración para seguir adelante y a mi papá José por sus enseñanzas y ejemplo de superación. A mi Mami Blanca por ser mi ángel en la tierra, por nunca desampararme y haberme brindado su apoyo incondicional. A mi ñaña Shirley por ser mi hermana mayor, por siempre aconsejarme y estar presente en los momentos más importantes. A mis hermanos María José y Joselito por ser mis personas especiales y compartir los recuerdos más bonitos.

Con profundo agradecimiento me dirijo a mi tutor de trabajo de investigación M.Sc Eduardo Mendoza por guiarme durante todo el proceso investigativo, por su paciencia y dedicación, por su excelente labor como maestro, sus amplios conocimientos en el área y su arduo trabajo continuo.

Gracias a mis compañeros y amigos con los que compartí aula de clase, tantas experiencias vividas durante todo nuestro periodo universitario; recuerdos que guardaré en mi corazón. A los docentes de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, por brindarme sus enseñanzas y trasmitirme sus conocimientos. Gratitud infinita para cada persona que formó parte de esta maravillosa etapa.

Joselyne Medina Lagos



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO**

**CARRERA DE ELECTRÓNICA EN CONTROL Y AUTOMATISMO**

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

f.

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

f.

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

f.

**M. Sc. VALLEJO SAMANIEGO, LUIS**  
OPONENTE

# Índice General

Índice de Figuras .....	XIII
Índice de Tablas .....	XV
RESUMEN.....	XVI
ABSTRACT .....	XVII
INTRODUCCIÓN.....	2
CAPITULO 1: CONSIDERACIONES GENERALES.....	5
1.1 Problema de Investigación.....	5
1.2 Justificación .....	6
1.3 Delimitación .....	7
1.4 Objetivos.....	8
1.4.1 Objetivo General: .....	8
1.4.2 Objetivos Específicos: .....	8
1.5 Metodología de la Investigación.....	8
1.6 Tareas de Investigación.....	9
CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO .....	11
2.1 Estado del Arte .....	11
2.2 Sistemas Domóticos .....	15
2.2.1 Ventajas y Desventajas de los Sistemas Domóticos .....	16
2.2.2 Modelos de Sistemas Domóticos .....	17
2.2.3 Clasificación de los Sistemas Domóticos .....	18
2.3 Redes de Sensores Inalámbricos .....	22
2.3.1 Principio de las Redes de Sensores Inalámbricos .....	23
2.3.2 Arquitectura Hardware de Nodos Sensor. ....	24
2.3.3 Áreas de Aplicación de las WSN .....	26

2.4	Microcontrolador .....	27
2.4.1	Arquitectura de un Microcontrolador.....	30
2.4.2	Microcontrolador ESP8266.....	31
2.5	Sistemas Multi-agente .....	34
2.5.1	Características de los Multi-agentes.....	34
2.5.2	Trabajo de los Agentes .....	35
2.5.3	Estructura de los Multi-agentes .....	36
2.6	Modelado UML .....	38
2.6.1	Diagramas de Casos de Uso.....	39
2.6.2	Diagramas de Secuencia .....	40
2.6.3	Diagramas de Estado.....	42
2.7	Redes de Petri.....	43
2.7.1	Elementos de una Red de Petri:.....	43
2.7.2	Representación Gráfica y Algebraica .....	45
2.7.3	Propiedades.....	46
2.7.4	Ejemplo de Funcionamiento de una Red de Petri.....	48
CAPITULO 3: PROYECCIÓN Y MODELADO DEL SUBSISTEMA DE GESTIÓN BASADO EN SISTEMAS MULTI-AGENTES.....		50
3.1	Consideraciones de Diseño Iniciales .....	50
3.1.1	Descripción del Sistema.....	50
3.1.2	Caracterización del Sistema.....	53
3.1.3	Definición de Requisitos Funcionales .....	55
3.2	Diseño del Sistema Domótico de Gestión .....	56
3.2.1	Arquitectura de Gestión Domótica .....	56
3.2.2	Arquitectura de Control del Sistema Gestión Domótica .....	58
3.2.3	Arquitectura de Red Inalámbrica del Sistema de Gestión Domótico.....	59

3.2.4	Arquitectura Multi-agente del Sistema de Gestión Domótico ....	61
3.2.5	Arquitectura del Agente de Gestión .....	62
3.3	Modelado del Sistema .....	67
3.3.1	Diagramas de Caso de Uso .....	67
3.3.2	Diagramas de Secuencia .....	70
3.3.3	Diagramas de Estados .....	72
3.3.4	Redes de Petri .....	75
3.3.5	Ecuaciones de la Red de Petri del Sistema de Gestión Distribuido .....	76
3.4	Implementación del Sistema de Gestión Domótica .....	79
3.4.1	Diseño de Software y Hardware de Nodos de Supervisión y Comunicación .....	79
3.4.2	Diseño de Software y Hardware del Nodo de Almacenamiento	84
3.4.3	Diseño de Software y Hardware del Nodo de Interfaz .....	88
3.5	Pruebas Experimentales del Sistema Multi-agente de Gestión .....	91
3.5.1	Pruebas de Pérdida de Paquete de Datos Durante la Lectura de Solicitudes.....	91
3.5.2	Tiempo de Respuesta de las Comunicaciones entre Nodos de Gestión	93
3.5.3	Tiempo de Repuesta desde el Agente de Interfaz .....	94
3.5.4	Pruebas de Cobertura de la Red de Gestión WiFi.....	95
CAPÍTULO 4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....		98
4.1	Presentación de Resultados .....	98
4.1.1	Resultados del Estado Arte .....	98
4.1.2	Resultados las Arquitecturas .....	99
4.1.3	Resultados del Modelado UML y Redes de Petri .....	99
4.1.4	Resultados de la Implementación.....	100
4.1.5	Resultados de Pruebas Experimentales.....	101

4.2	Discusión de Resultados .....	101
4.2.1	Discusión del cumplimiento de las funciones del sistema.....	101
4.2.2	Cumplimiento de Objetivos.....	102
4.2.3	Solución al Problema de Investigación .....	103
4.2.4	Aporte del Modelado UML y Redes de Petri.....	104
4.2.5	Aporte de la arquitectura del sistema de gestión multi-agente	104
CAPITULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		105
5.1	Conclusiones .....	105
5.2	Recomendaciones .....	106
5.3	Trabajo Futuro .....	106
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		107

## Índice de Figuras

<b>Figura 1.</b> <i>Arquitectura multi-agente de una vivienda inteligente</i> .....	18
Figura 2. <i>Estructura básica de un sistema de control híbrido</i> .....	19
Figura 3. <i>Tipología tipo anillo</i> .....	20
Figura 4. <i>Escenario de redes alámbricas</i> .....	21
Figura 5. <i>Sistema de comunicación inalámbrica ZigBee</i> .....	22
<b>Figura 6.</b> <i>Estructura de una red de sensores inalámbricos típica</i> .....	22
Figura 7. <i>Topologías usadas en redes de sensores inalámbricos</i> .....	23
Figura 8. <i>Arquitectura de nodo sensor</i> .....	26
Figura 9. <i>Descripción general de las aplicaciones WSN</i> .....	27
Figura 10. <i>Diseño básico de un microcontrolador</i> .....	28
Figura 11. <i>Arquitectura Harvard</i> .....	31
Figura 12. <i>Pin Layout</i> .....	32
Figura 13. <i>Diagrama de bloques</i> .....	32
<b>Figura 14.</b> <i>Un agente en su entorno</i> .....	36
Figura 15. <i>Estructura típica de un sistema multi-agente</i> .....	37
Figura 16. <i>Elementos de diagramas de casos de uso</i> .....	39
Figura 17. <i>Ejemplo de diagrama de caso de uso</i> .....	41
Figura 18. <i>Ejemplo de diagrama de secuencia</i> .....	42
Figura 19. <i>Ejemplo de diagrama de estado</i> .....	43
Figura 20. <i>Símbolos de una Red de Petri</i> .....	44
Figura 21. <i>Red de Petri antes y después de la ocurrencia</i> .....	44
Figura 22. <i>Acciones representadas por transiciones</i> .....	45
Figura 23. <i>Reacciones básicas de modelado en Redes de Petri</i> .....	46
Figura 24. <i>Conflicto efectivo</i> .....	47
Figura 25. <i>Lugares de entrada y salida</i> .....	48
Figura 26. <i>Cambio de estado de una red de Petri</i> .....	49
Figura 27. <i>Esquema general del sistema de gestión domótico propuesto</i> ....	51
Figura 28. <i>Diagrama de flujo general del sistema</i> .....	53
Figura 29. <i>Diagrama de bloques del sub-sistema de gestión</i> .....	57
Figura 30. <i>Jerarquía del sub-sistema de gestión</i> .....	59
Figura 31. <i>Red de sensores inalámbrica del sistema de gestión</i> .....	60

Figura 32. <i>Conversión de los subsistemas</i> .....	62
Figura 33. <i>Arquitectura de los agentes del sistema de gestión</i> .....	63
Figura 34. <i>Arquitectura domótica deliberativa</i> .....	64
Figura 35. <i>Arquitectura de software del sistema de gestión</i> .....	65
Figura 36. <i>Arquitectura hardware de los agentes de gestión</i> .....	66
Figura 37. <i>Sistema externo relacionado al sistema de gestión</i> .....	68
Figura 38. <i>Sistema general de gestión</i> .....	69
Figura 39. <i>Diagrama de secuencia del sistema de gestión</i> .....	70
Figura 40. <i>Diagrama de estado del sistema de gestión</i> .....	73
Figura 41. <i>Red de Petri del sistema domótico de gestión</i> .....	76
Figura 42. <i>Matriz de inhibición del sistema de gestión</i> .....	77
Figura 43. <i>Matriz de marcado de la Rdp</i> .....	78
Figura 44. <i>Matriz de transiciones habilitadas de la Rdp</i> .....	78
Figura 45. <i>Resultado del análisis de espacio de estados</i> .....	79
Figura 46. <i>Funcionamiento del NP de supervisión</i> .....	81
Figura 47. <i>Diagrama de flujo del NP de comunicación</i> .....	82
<b>Figura 48. Circuito esquemático del "NP de supervisión y comunicación"</b> ..	83
Figura 49. <i>Agente de Supervisión y Agente de comunicación</i> .....	84
Figura 50. <i>Diagrama de flujo de NP de almacenamiento</i> .....	85
Figura 51. <i>Circuito de implementación del NP de almacenamiento</i> .....	87
<b>Figura 52. Implementación del agente de almacenamiento</b> .....	87
Figura 53. <i>Diagrama de estado de NP de Interfaz</i> .....	88
Figura 54. <i>Circuito esquemático de conexiones del agente de Interfaz</i> .....	90
Figura 55. <i>Interfaz domótica en NEXTION</i> .....	91
Figura 56. <i>Gráfica estadística de datos perdidos vs. Distancia</i> .....	93
Figura 57. <i>Estadística distancia vs precisión</i> .....	97

## Índice de Tablas

Tabla 1.	<i>Especificaciones del Microcontrolador ESP8266</i> .....	33
Tabla 2.	<i>Descripción conexiones de implementación NP</i> .....	83
Tabla 3.	<i>Conexiones de dispositivos para agente de almacenamiento</i> .....	86
Tabla 4.	<i>Conexiones entre elementos del nodo de Interfaz</i> .....	89
Tabla 5.	<i>Tiempo de retardo en la emisión y recepción de datos</i> .....	94
Tabla 6.	<i>Tiempo de respuesta de solicitudes del NP de interfaz</i> .....	95
Tabla 7.	<i>Resultados de precisión de comunicación</i> .....	96

## RESUMEN

En la actualidad las aplicaciones de los agentes inteligentes, especialmente en el ámbito de la domótica y más entornos automatizados, contribuyen a solucionar los requerimientos del mercado actual, por lo que se busca proporcionar cada vez, nuevas alternativas y propuestas. Las investigaciones realizadas se han centrado en el análisis de dispositivos a gran escala y no se ha encontrado arquitectura de control que permitan aplicar esta tecnología en ambientes domóticos inteligentes. La presente investigación está enfocada específicamente en el campo de la automatización y domótica, utilizando herramientas que permitirán el modelado del sistema, se trata de una red de sensores inalámbricos con componentes de bajo costo, de al menos cuatro nodos que puedan interactuar entre ellos a distancias cortas (nodo de supervisión, comunicación, almacenamiento e interfaz), con diferentes sensores y actuadores que permitan el análisis y estudio del comportamiento de los agentes de gestión en un entorno automatizado y la eficiencia de protocolos elaborados. La arquitectura distribuida propuesta en el sistema de gestión, permitió mantener la estructura domótica en correcto funcionamiento, a partir de la repartición de las tareas asignadas a cada uno de los agentes implícitos. Al contar cada agente con su propio microcontrolador (ESP8266), se facilitó el proceso de ejecución de las acciones a lo largo del desarrollo del procedimiento. Las redes de Petri contribuyeron con la esquematización concreta de las tareas que realiza cada agente y con la obtención de pruebas necesarias que arrojaron resultados positivos sobre la verificación del correcto funcionamiento del sistema.

**Palabras Claves:** Agentes Inteligentes; Sistema Multi-Agente; Sistema Domótico; Redes De Petri; Automatización; Inteligencia Artificial.

## ABSTRACT

Currently the applications of intelligent agents, especially in the field of home automation and automated environments, contribute to the requirements of the current market, which is why it seeks to provide new solutions every time. The investigations carried out have focused on the analysis of large-scale devices and no control architecture has been found that allow the application of this technology in smart home automation environments. This research is focused specifically on the field of automation and home automation, using tools that will allow the modeling of the system, it is a network of wireless sensors with low-cost components, of at least four nodes that can interact with each other at distances short (supervision, communication, storage and interface node), with different sensors and actuators that allow the analysis and study of the behavior of management agents in an automated environment and the efficiency of the protocols developed. The distributed architecture used in the management system made it possible to maintain the home automation structure in correct operation, based on the distribution of the tasks assigned to each of the implicit agents. As each agent had their own microcontroller (ESP8266), the process of executing the actions was facilitated throughout the development of the procedure. The Petri nets contributed with the concrete outlining of the tasks performed by each agent and with obtaining the necessary tests that yielded positive results in terms of verifying the correct functioning of the system.

**Keywords:** Intelligent Agents; Multi-Agent System; Home Automation System; Petri Nets; Automation; Artificial Intelligence.

## INTRODUCCIÓN

Un sistema domótico tiene la capacidad de captar información proveniente de sensores o entradas, procesarla y emitir órdenes a unos actuadores o salidas. El sistema puede acceder a redes exteriores de comunicación o información, y permite dar respuesta a los requerimientos que plantean los nuevos sistemas de vida.

Hoy en día se han estudiado aplicaciones de agentes inteligentes y sus aportes relevantes en los quehaceres humanos, especialmente en el área de la domótica, los requerimientos del mercado actual se enfocan en los entornos automatizados lo que contribuye a la búsqueda de nuevas soluciones para el desarrollo continuo del mismo.

Los sistemas domóticos en el Ecuador están muy poco avanzados, debido a que las tecnologías existentes no se adaptan fácilmente al entorno y a las arquitecturas de las viviendas, al desconocimiento de los usuarios de las bondades de estos sistemas, y a los costos elevados de los pocos equipos domóticos que existen en el mercado. Se busca tener una cobertura total de los dispositivos domóticos que permitan controlar cada uno de ellos desde una central que administre las acciones a ejecutarse. Además, uno de los objetivos principales es crear una red de sensores que tenga funcionalidad compleja y cumpla con todos los propósitos, pero a un bajo costo de montaje y fabricación la cual es una de las ventajas de las redes inalámbricas, al no necesitar cables, resulta más fácil la reparación y a su vez el mantenimiento, lo que produce una disminución en su valor.

La presente investigación estará enfocada específicamente en el campo de la automatización y domótica, utilizando herramientas que permitirán el modelado del sistema, el cual podría posteriormente ser implementado y probado en el hogar para luego ser extendido a diferentes áreas, las cuales requieran la misma arquitectura, pero con una perspectiva más amplia.

El trabajo de titulación presentado tiene como objetivo principal proyectar una arquitectura para agentes inteligentes de gestión en un sistema domótico distribuido, montados sobre microcontroladores que se comunican por medio

de una red WiFi, para lo cual se ha diseñado una red inalámbrica para la comunicación entre agentes inteligentes de gestión en un sistema domótico utilizando módulo de comunicación WiFi, con una arquitectura de agentes inteligentes de gestión de un sistema domótico basada en el modelo de Creencias, Deseos e Intenciones (BDI). Y finalmente se ha realizado una evaluación del desempeño de los agentes inteligentes de gestión a través de métricas de evaluación del sistema multi-agente, que según las pruebas experimentales realizadas ha cumplido con todas las características establecidas.

Los capítulos de la investigación se han organizado de la siguiente forma:

En el Capítulo 1 se muestra una introducción del trabajo de investigación, un breve resumen de la problemática encontrada en el contexto de los sistemas domóticos, además se define la delimitación del estudio, los objetivos trazados y la metodología de la investigación utilizada.

En el Capítulo 2, el estado del arte se basa en los sistemas domóticos que han servido de base para el desarrollo del sistema. El estudio empieza con un análisis de los sistemas domóticos existentes, las redes de sensores, los microcontroladores y los sistemas multi-agente. Luego se realiza un estudio del modelado UML que permitirá diseñar la propuesta. Por último, se realiza un estudio de las redes de Petri que sirve para modelar el comportamiento dinámico de sistemas de eventos.

El Capítulo 3 presenta una proyección y modelado del subsistema de gestión basado en sistemas multi-agentes, el cual inicia con las definiciones de los sistemas iniciales, luego se presenta el diseño domótico del sistema de gestión, una vez obtenido el diseño se ha procedido a modelar el sistema mediante un conjunto de diagramas que permiten tener una secuencia de sus interacciones. Posteriormente se realiza la implementación del modelo y las respectivas pruebas experimentales para constatar su funcionamiento.

El Capítulo 4 presenta la validación del modelo, mediante la presentación de los resultados obtenidos en las pruebas experimentales.

El Capítulo 5 analiza las conclusiones obtenidas una vez realizado y probado el modelo y que las pruebas hayan sido examinadas, así como establecer las recomendaciones propuestas y una breve descripción de los trabajos futuros en función de los resultados obtenidos.

Como conclusiones es posible acotar que el modelo BDI en el sistema multi-agente proporciona una estructura sistemática y rango de órdenes, el cual reduce los conflictos entre los agentes inteligentes y el riesgo de colisiones en la comunicación, evitando fallos en la red.

En las pruebas realizadas en la red de gestión domótica, se obtuvieron resultados que permitieron comprobar la funcionalidad de las arquitecturas propuestas, las cuales fueron modeladas y simuladas con redes de Petri. Las propiedades de la red de Petri, predijeron un comportamiento adecuado del sistema planteado, que fue evidenciando y corroborado a través de pruebas experimentales del sistema.

## **CAPITULO 1: CONSIDERACIONES GENERALES**

### **1.1 Problema de Investigación**

Existen diferentes características y conceptos para definir a un agente inteligente y su composición, se puede describir a un agente como un sistema computacional que es capaz de hacerse cargo de sí mismo, y a su vez comunicarse e interactuar con su entorno. Por otro lado, posee un conjunto de propiedades que le permite realizar acciones fundamentales, tales como reactividad, autonomía y sociabilidad, formando así lo que llamamos sistema multi-agente. (Ayala & Guerrero, 2013)

Estas capacidades resultan factibles al momento de ser aplicadas en la construcción de entornos inteligentes, un agente va a adaptar su comportamiento a partir de la información almacenada en base a una experiencia previamente adquirida, de esta manera se ajustará a los cambios que ocurran repentinamente en el ambiente al cual pertenece, además cuenta con la habilidad de migrar, trasladarse a lo largo de una red de nodos de procesamiento para cumplir con sus necesidades. Es importante dotar a los agentes de mecanismos de sensibilidad al contexto que le permitan modificar su comportamiento en función de la información recibida de su entorno (G. Torres, 2020).

En la actualidad se han analizado a detalle las aplicaciones de los agentes inteligentes y su trascendental aporte a los quehaceres humanos, especialmente en el ámbito de la domótica, los entornos automatizados contribuyen gran parte de los requerimientos del mercado actual por lo que se busca proporcionar nuevas soluciones para el desarrollo continuo del mismo. La investigación obtenida hasta la fecha se ha centrado en el análisis de dispositivos a gran escala, más no en aquellos que tienen menor capacidad de procesamiento con recursos limitados, el papel importante que juegan en la computación los hacen adecuados para implementarse en un sinnúmero de aplicaciones, pero en la búsqueda científica realizada, no se ha encontrado tales aportes que guíen su desarrollo, ni propuestas metodológicas, ni arquitectura de control que permitan aplicar esta tecnología en ambientes

domóticos inteligentes (Herrera, 2005). Considerando la situación descrita con anterioridad y teniendo en cuenta la reducida cantidad de información obtenida con relación a los agentes inteligentes de gestión en el área de la domótica se propone el siguiente problema de investigación:

¿De qué manera influye la arquitectura de un sistema multi-agente en la gestión eficiente de un sistema de control distribuido domótico?

## **1.2 Justificación**

Los avances tecnológicos y el volumen acrecentado de los usuarios con miras a una casa inteligente, hace necesario que los investigadores encuentren soluciones económicas rápidas y energéticamente eficientes a la hora de obtener datos de gustos personalizados para el uso de la domótica (Morales, 2011). Si es muy bien sabido que la domótica lleva años que fue insertado en la vida como una aplicación de la automática industrial dirigida al hogar, ha tenido una evolución enorme en muy poco tiempo, por eso debido a las necesidades heredadas en este ámbito es que encontramos problemas de agilidad para recibir datos, dado que los sensores industriales son creados solo para esta área son difíciles de conseguir o implantar en la áreas residenciales, por este motivo es que en el hogar se trata de implementar equipos para domótica con tecnologías baratas y de fácil acceso con dimensiones y formas que se adapten al entorno.

Sin embargo, con toda la tecnología implementada en la actualidad se encuentra una mayor exigencia en como este control se vuelve más personalizado, más cómodo a la hora de operarlo, que almacene requerimientos más utilizados por el usuario y aprenda de ellos y pueda así dar no solo respuestas manualmente seleccionadas, sino que automáticamente genere un ambiente de comodidad y placer a nuestras costumbres.

Los sistemas domóticos en el Ecuador y en la ciudad de Guayaquil, tienen un desarrollo muy poco acelerado, debido a que las tecnologías existentes no se adaptan fácilmente al entorno y a las arquitecturas de las viviendas, al desconocimiento de los usuarios de las bondades de estos sistemas, y a los

costos elevados de los pocos equipos domóticos que existen en el mercado. Esta situación, ha generado la necesidad de proponer una arquitectura para la gestión de un sistema domótico, que permita la integración de los dispositivos y funciones del sistema, considerando el uso de componentes de bajo costo.

### **1.3 Delimitación**

La presente investigación estará enfocada específicamente en el campo de la automatización y domótica, utilizando herramientas que permitirán el modelado del sistema, el cual podría posteriormente ser implementado y probado en el hogar para luego ser extendido a diferentes áreas, las cuales requieran la misma arquitectura, pero con una perspectiva más amplia. El uso de componentes de bajo costo y relativamente nuevos para el desarrollo de esta red imposibilita el uso de protocolos comerciales y estandarizados para redes de sensores inalámbricos por lo que se centrará en una estructura de menor escala. Debido a las dificultades por las cuales estamos atravesando actualmente generadas por el Covid-19, no se podrá hacer uso de equipos costosos de laboratorio, por lo tanto, se elaborarán prototipos de prueba, que básicamente permitirán realizar experimentos para determinar el comportamiento del sistema, la interacción con el entorno y los tiempos de respuestas al recibir nueva información.

Al tratarse de una red de sensores inalámbricos basada en componentes de bajo costo, es posible montar un prototipo de red, de al menos seis nodos que puedan interactuar entre ellos a distancias cortas (máximo 1 metros), utilizando diferentes sensores y actuadores de bajo costo. La red se montará en placas de circuito impreso elaboradas de forma didáctica, de tal forma que permita su uso, para el aprendizaje y estudio de las Redes de Sensores Inalámbricos. La finalidad de este prototipo es desarrollar una maqueta con componentes que permitan el análisis y estudio del comportamiento de los agentes de gestión en un entorno automatizado y la eficiencia de los protocolos elaborados.

## **1.4 Objetivos**

A continuación, se presentará el objetivo general y los objetivos específicos que se establecieron para el presente trabajo de investigación:

### **1.4.1 Objetivo General:**

Proyectar una arquitectura para agentes inteligentes de gestión en un sistema domótico distribuido, montados sobre microcontroladores que se comunican por medio de una red WiFi.

### **1.4.2 Objetivos Específicos:**

- Diseñar una red inalámbrica para la comunicación entre agentes inteligentes de gestión en un sistema domótico utilizando módulo de comunicación WiFi.
- Proponer una arquitectura de agentes inteligentes de gestión de un sistema domótico basada en el modelo de Creencias, Deseos e Intenciones (BDI).
- Evaluar el desempeño de los agentes inteligentes de gestión a través de métricas de evaluación del sistema multi-agente.

## **1.5 Metodología de la Investigación.**

Para (Cazau, 2006) “la investigación correlacional tiene como finalidad medir el grado de relación que eventualmente pueda existir entre dos o más conceptos o variables, en los mismos sujetos. Más concretamente, buscan establecer si hay o no una correlación, de qué tipo es y cuál es su grado o intensidad (cuán correlacionadas están)”.

En base a la teoría, se puede determinar lo siguiente: Se utilizó la investigación correlacional de tal forma que se pueda determinar la relación que existe entre variables dentro de una misma red, donde se involucren propiedades o factores tales como: proactividad, adaptabilidad, veracidad. Para lograr lo antes mencionado, se utiliza una arquitectura basada en creencias, deseos e intenciones (BDI), que permita integrar a los agentes inteligentes para optimizar la gestión de un sistema domótico.

El enfoque que se ha empleado es de tipo cuantitativo, debido a que se requiere cuantificar las variables a través de mediciones y cálculos para determinar el comportamiento del sistema con el entorno. Además, se han utilizado tres métodos de investigación: analítico, simulación y experimental. El método analítico realizará una recopilación de toda la información necesaria, con el objetivo de recolectar datos relevantes para el diseño de la arquitectura, toda esta información formará parte de una fase de análisis la cual se sustenta en bases científicas. El segundo método tiene como finalidad construir y estructurar el mecanismo del circuito a través de la programación y esquematización, corrigiendo los errores que pudieran existir dentro del mismo de forma discreta y eficaz. Por último, el método experimental almacenará el registro de las variables analizadas y manipulará los datos encontrados que determinará el resultado del estudio general y evaluar la propuesta tecnológica y sus métricas.

## **1.6 Tareas de Investigación**

Para llevar a cabo el proceso investigativo y cumplir con los objetivos planteados se seguirán los siguientes pasos:

- Búsqueda de artículos científicos e información veraz actual que respalden los argumentos que se expondrán en el trabajo de investigación.
- Reconocimiento del área donde se desarrollará la demostración de la red.
- Diseñar la red de comunicación entre los componentes del sistema.
- Definir los componentes necesarios para la implementación de la red
- Evaluar los costos de fabricación del circuito para la simulación y comprobación del sistema.
- Modelado en UML el cual describirá la estructura, el comportamiento y los objetos que componen el circuito.
- Análisis del comportamiento dinámico del sistema a través de la aplicación de las redes de PETRI.
- Programación de la red de nodos donde irán interconectados los elementos siguiendo los protocolos de diseño.

- Establecer la comunicación entre los componentes del sistema.
- Pruebas de funcionamiento y puesta en marcha de los sensores, actuadores y demás componentes a utilizarse.
- Localización y corrección de errores para lograr mejoras en el prototipo.
- Análisis de los resultados obtenidos en comparación a estudios realizados previamente que permitan evidenciar la eficacia del entorno desarrollado.

## **CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO**

El marco teórico de la presente investigación inicia presentando el estado del arte, con la finalidad de exponer aportes científicos que sustenten la investigación de las redes de sensores y la arquitectura para agentes inteligentes de gestión en un sistema domótico. Asimismo, una breve síntesis de cada uno de los artículos e investigaciones científicas que se consideran esenciales para el desarrollo del trabajo de titulación, seguido de la explicación de varios temas importantes que contribuirán con el entendimiento de la propuesta investigativa.

### **2.1 Estado del Arte**

Según (Reinaldo et al., 2018) en el artículo de investigación, se refieren a la domótica como un amplio mercado que integra múltiples aplicaciones y un campo interesante a ser investigado. La historia de la domótica ha pasado por varias fases desde su introducción, la primera fase se basó en conceptos y equipos extraídos de la automatización industrial, la segunda se refirió a un período donde nuevas herramientas fueron desarrolladas pero se encontraron ciertos problemas con el diseño y finalmente se procedió a la última etapa, denominada la “nueva era” en la cual el reto es explorar ámbitos multidisciplinarios los cuales permitan emplear o manejar a la domótica como un servicio, con distintos tipos de modelos que permitan una interacción de la casa con el humano. En esta última fase se buscan propósitos un poco diferentes, se trata de crear una motivación para implementar arquitecturas diferentes para la automatización no solo de viviendas sino también crear edificios inteligentes. El resultado obtenido en esta era han sido trascendentales lo que ha generado un gran avance investigativo que apoyará al desarrollo de futuros modelos que podrían surgir con nuevos enfoques.

En la investigación realizada por Huidobro et al., 2007 aseguran que la domótica, dicho en muy pocas palabras, es la instalación e integración de varias redes y dispositivos electrónicos en el hogar que permiten la automatización de actividades cotidianas y el control local o remoto de la vivienda. En la actualidad la domótica está recibiendo un incremento

exponencial en el uso de sus herramientas, los seres humanos por instinto buscamos una mejor calidad de vida centrándonos en la automatización en el hogar como primer punto, el confort y las múltiples soluciones que esto ofrece, hace de la domótica un tema de importancia y por esta razón se han llevado a cabo casos investigativos a lo largo del tiempo para obtener así mejoras en los sistemas pero asimismo existen una serie de normativas y reglas que se deben cumplir al momento de implementar esta nueva tecnología en casa, además es conocida de igual manera por ser amigable con el medio ambiente, se puede citar un ejemplo común como es el de las luces al entrar a un domicilio inteligente, al sentir la presencia humana se encenderán o apagarán las luces dependiendo del caso.

Las redes de sensores inalámbricos disponen de un campo muy amplio de aplicaciones y aún muchos desafíos pendientes, especialmente aquellos relacionados con la evolución de la electrónica digital, ancho de banda, reducción de costos de implementación, cobertura de red y capacidad de procesamiento. (Mendoza et al., 2020). Se busca tener una cobertura total de los dispositivos domóticos que permitan controlar cada uno de ellos desde una central que administre las acciones a ejecutarse. Además, uno de los objetivos principales es crear una red de sensores que tenga funcionalidad compleja y cumpla con todos los propósitos, pero a un bajo costo de montaje y fabricación la cual es una de las ventajas de las redes inalámbricas, al no necesitar cables, resulta más fácil la reparación y a su vez el mantenimiento, lo que produce una disminución en su valor.

El estudio realizado por (Tian et al., 2016) manifiesta que la penetración de la generación distribuida puede perjudicar el nivel de corriente de falla del sistema de distribución activo y las características del sistema tradicional, entonces el sistema de protección el cual se ha configurado originalmente para un sistema de distribución tradicional debe ser actualizado para que cumpla con los parámetros y requisitos operativos de un sistema de distribución activo. Al momento de desarrollar un mecanismo de detección de fallas para un sistema de distribución activo se deben considerar algunos factores importantes para conseguir un mecanismo de detección de fallas que arroje resultados precisos. Basándose en los antecedentes mencionados, se

desarrolla un sistema de diagnóstico de fallas basado en un sistema multi-agente para un sistema de distribución activo.

Conforme al artículo presentado por (Bogdanović et al., 2016) una casa inteligente es un sistema controlado y automatizado que responde a las demandas del usuario, ajustando sus propiedades al entorno y calidad de vida según sus necesidades. Los avances tecnológicos que han surgido hasta la actualidad en relación con las redes de sensores inalámbricos (WSN), nos brindan la oportunidad de simplificar, garantizar y mejorar la rentabilidad y efectividad de un hogar inteligente. Este estudio ha sido direccionado a la implementación de un sistema domótico de bajo consumo de energía, a compararlo con soluciones existentes y generar nuevas mejoras, además de reducir el costo de adquisición. El reconocimiento fácil y el software de detección de voz pueden ser cambios que pueden complementarse en el futuro y al mismo tiempo regular el consumo de energía.

En el trabajo investigativo propuesto por (Taboun & Brennan, 2017), presentan los cyber-physical systems, los cuales han sido un tema de interés exponencial en los dispositivos conectados a una de red. La característica más importante y clave de estos sistemas es la capacidad de sentir su entorno. Las redes de sensores inalámbricos se adaptan a ellos y son una solución precisa para acoplarse sin mayor inconveniente. Se presenta una red de sensores inalámbricos integrados por sistemas multi-agentes y dirigidos por un sistema central. También se proponen los tipos de nodos de sensores inalámbricos: activo y pasivo, seguido de su protocolo de comunicación y explicaciones específicas las cuales se llevan a cabo a través de experimentos que evalúan el rendimiento de la red de sensores inalámbricos conducida por los multi-agentes.

El trabajo de investigación realizado por (Magno et al., 2015) sustenta que reducir la demanda de energía en una residencia es un importante reto a nivel mundial. En particular, las luces comúnmente usadas en las residencias consumen una gran porción de la energía total y desafortunadamente una gran parte de esta cantidad de energía es desperdiciada. Las luces LED están siendo utilizadas como luces en las casas, industrias, oficinas o en el sector

agricultor con más eficiencia que las luces regulares o tradicionales. Por otra parte, el sistema de control de luces ha sido introducido en el mercado actual, debido a que los sistemas energéticos instalados anteriormente están desactualizados y no son eficientes. Sin embargo, los altos costos, los problemas de la instalación y la dificultad de mantenimiento, han hecho que el nuevo sistema no sea usado exitosamente en oficinas, edificios y casas. Este artículo propone una solución eficiente a dichas situaciones, a través de sistemas que combinan sensores de bajo consumo que utiliza una comunicación Zigbee, también presenta un diseño e implementación de un sistema propuesto para el mundo real. La finalidad del sistema de luces inteligentes es reducir el consumo de energía en un 55% los seis primeros meses y llegar a más del 69% en los meses de primavera.

El artículo publicado por (Neway et al., 2019) se refiere a los agentes inteligentes como un sistema autónomo ampliamente usado para controlar o modelar componentes de un ambiente inteligente. Al usar esta tecnología se alcanzan las metas tanto de confort como de eficiencia energética en los sistemas de los "smart homes", los cuales han sido documentados en múltiples estudios. Esta investigación examina la literatura de los multi-agentes basados en casa inteligentes y brindando una amplia comprensión de los requerimientos esenciales, asunciones, fortalezas, limitaciones retos y direcciones a futuras investigaciones en el sistema propuesto. Además, se identifican las principales tecnologías usadas para representar un ambiente con sistemas multi-agentes en una vivienda y los razonamientos que ellos utilizan para llevar a cabo la toma de decisiones al momento de enfrentarse a una situación de acción-reacción. Como resultado, esta literatura sistemática de revisión identifica la habilidad de aprender, planear, explicar, predecir y razonar con la ayuda de otros elementos que entregarán información al sistema para llevar a cabo la acción a través del razonamiento. Además, la finalidad de este documento es revelar la aplicación de las reglas estándares de estrategias para la resolución de conflictos y la contextualización de la información de los sensores como solución principal para inferir en algunos de los problemas causados por las reglas y objetivos independientes que poseen los agentes.

La apresurada y exhaustiva vida con la que se atraviesa en la actualidad, ha producido que los seres humanos estemos bajo presión con menos tiempo y más responsabilidades por cumplir. En este artículo se describe a la domótica como una forma de tener bajo control el hogar, la cual incluye beneficios tales como: diferentes aplicaciones, seguridad, aprovechamiento de la energía, ambiente cómodo, entre otras características domésticas. Las redes de sensores están ganando popularidad a un ritmo muy acelerado actualmente, debido a que ofrece múltiples beneficios como: ahorro de tiempo, ahorro de dinero, reducción del estrés, mejor auto-productividad y auto-eficiencia. Un hogar automatizado puede lograr sus objetivos de forma eficiente mediante el marco IOT, el cual crea una atmósfera, donde se conectan múltiples objetos físicos a través del internet para formar una infraestructura de red dinámica. El presente trabajo explica detalladamente como los objetos físicos se interconectan entre sí, a través de dispositivos inteligentes, con la ayuda de la información percibida por la red de sensores, los cuales pueden ser: sensor de temperatura, incendios, seguridad, etc. (Manda et al., 2018).

De acuerdo con (Palanca et al., 2016) en su artículo científico, sustenta que en la actualidad los sistemas tecnológicos están en constante crecimiento tanto en poder como en recursos y servicios. Por tal motivo, surge la necesidad de proveer sistemas que actúen como asistentes inteligentes. Estos sistemas deben ser capaces de interactuar de forma natural con los usuarios humanos y a su vez con el ambiente en que se desarrollan, además deben ser capaces de tener presentes sus objetivos, recoger información del medio y realizar cambios si es necesario. En este texto presentan una arquitectura de diseño y desarrollo orientada a objetivos auto adaptivos, en un entorno de hogar inteligente. Con esta arquitectura, los usuarios podrán expresar sus objetivos interactuando con el sistema, en donde los agentes actuarán de forma transparente hacia el usuario. Esto se centra en ambientes donde se busca el bienestar del usuario a través de controles automáticos.

## **2.2 Sistemas Domóticos**

La domótica surge en la década de los setenta y con el pasar de los años

se desarrolló un constante y creciente interés por conseguir el “hogar ideal”. A causa del avance tecnológico, surgió la necesidad de realizar estudios más avanzados que arrojaron como resultado los primeros sistemas comerciales, los cuales fueron probados principalmente en Estados Unidos, pero dichos sistemas tenían funciones muy limitadas como, por ejemplo: la regulación de la temperatura en ambientes de oficina, la cual en la actualidad forma parte de una función básica cuando a hogares o edificios inteligentes se refiere.

El ser humano relaciona el confort y la facilidad al momento de realizar las tareas del hogar con un mejor estilo de vida, por tal motivo, la domótica ha revolucionado las soluciones integrales dentro de una vivienda para alcanzar los objetivos de los usuarios mediante la comunicación y transferencia de información a través de una red de sensores que envían los datos percibidos a los actuadores para generar una respuesta inmediata.

Se puede definir a los sistemas domóticos como el conjunto de tecnologías dentro del hogar que proporcionan soluciones automáticas, recibiendo órdenes y procesándolas con el objetivo de satisfacer los intereses del usuario, brindando confort en la vivienda y armonía en el ambiente. Por lo tanto, la domótica, busca la integración de los dispositivos fijos que forman parte del hogar para crear entornos funcionales. (M. Torres et al., 2017)

### **2.2.1 Ventajas y Desventajas de los Sistemas Domóticos**

Según (Escobar & O lave, 2018), las ventajas son:

- Control y accesibilidad
- Seguridad Personal
- Confort
- Conectividad
- Ahorro energético
- Sustentabilidad
- Teleasistencia
- Gestión remota

#### **Desventajas:**

- Inversión inicial costosa

- Averías en el sistema
- Depende de una red de internet
- Mantenimiento cada cierto tiempo
- Velocidad en la transmisión (congestionamiento de la red)
- Problemas de retraso en la comunicación

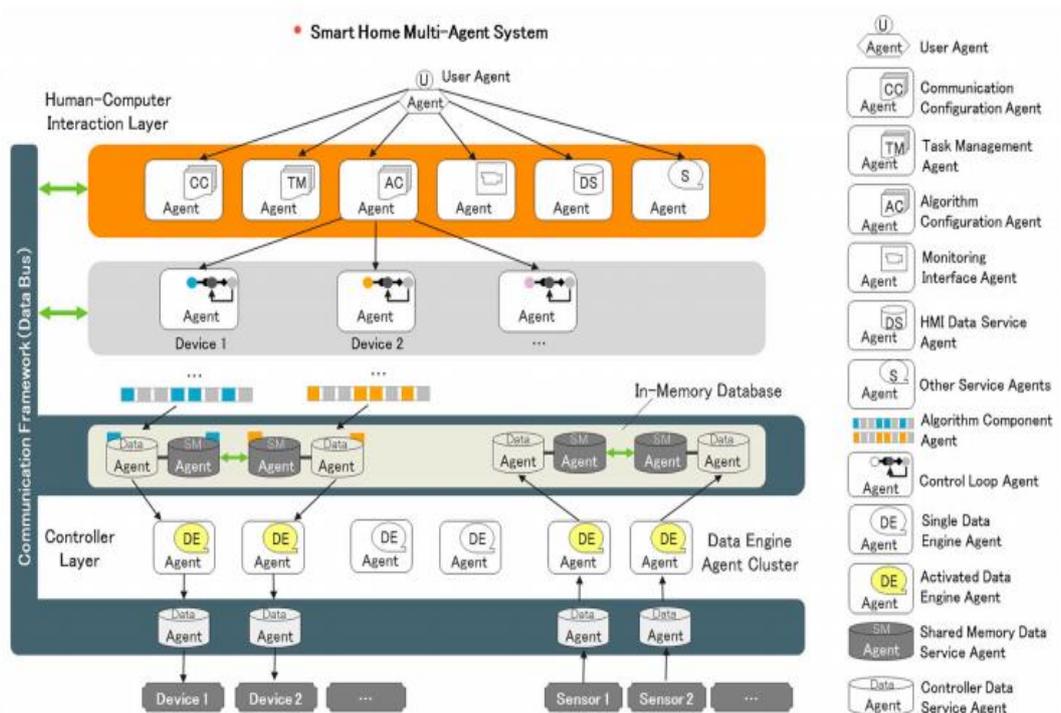
### 2.2.2 Modelos de Sistemas Domóticos

El modelo que se describe a continuación, se sustenta en el uso de distintos elementos o dispositivos que se encuentran distribuidos en el ambiente inteligente. Se exponen las siguientes propiedades del sistema: autonomía, comunicación e inteligencia, las cuales ayudan al mismo a incluir agentes. Según (Marsá et al., 2004) se divide a los dispositivos antes mencionados en cuatro grupos:

- **Sistema Central (SC).** Se trata de un sistema compuesto por los agentes de más alto nivel de la vivienda, y de aquellos agentes que gobiernen dispositivos sin inteligencia, es decir, dispositivos domóticos que no tengan suficiente capacidad de proceso para abastecer a sus propios agentes.
- **Dispositivos Personales.** Cada persona posee un dispositivo móvil, teléfono celular, PDA, los cuales contiene los agentes necesarios que permiten la identificación del usuario frente al sistema, haciendo uso de interfaces que permitan acceder a los servicios cuando sean solicitados.
- **Dispositivos con Agentes.** Son los sensores y actuadores que tienen autonomía, aunque a menor escala, la cual es soportada por una máquina virtual.

**Dispositivos sin Agentes.** Se trata de sensores y actuadores que no poseen autonomía ni inteligencia, y que se encuentran dirigidos por agentes que residen en el SC. (Ver **Figura 1**)

**Figura 1. Arquitectura multi-agente de una vivienda inteligente**



Fuente: (Song et al., 2017)

## 2.2.3 Clasificación de los Sistemas Domóticos

Los sistemas domóticos se pueden clasificar de distintas maneras, según Huidobro et al., (2007), se clasifican en función de la arquitectura, de la topología y de los medios de transmisión.

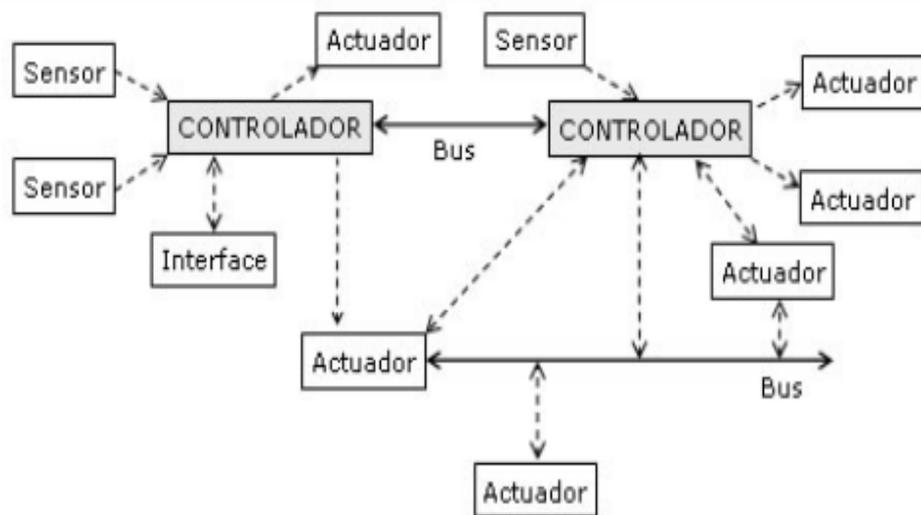
### 2.2.3.1 Arquitecturas de Control de un Sistema Domótico

Según la forma en que la red una los distintos puntos o lugares dispondremos de lo que se suele denominar arquitectura de control de la red Huidobro et al., (2007). Puede ser de varios tipos:

- Sistemas centralizados: Solo existe un controlador central que dirige todo el sistema, si el controlador principal falla, todo el sistema dejará de funcionar.
- Sistemas descentralizados: Están constituidos por tantos controladores como elementos conectados al sistema, si se produce una falla en uno de los controladores de la red, sólo dejan de funcionar aquellos elementos enlazados a dicho controlador.
- Sistemas distribuidos (híbridos): El control se encuentra distribuido en

todos los dispositivos, es una combinación de las dos arquitecturas anteriores. Se componen de varios controladores que gobiernan a los elementos más próximos al mismo. En caso de un fallo, sólo detendrán su función aquellos dispositivos conectados al controlador en cuestión, mientras que las otras aplicaciones continuarían cumpliendo su función con normalidad (Molina González, 2010). En la Figura 2, se muestra la estructura básica de un sistema de control distribuido.

**Figura 2.** Estructura básica de un sistema de control híbrido



Fuente: (Barrio, 2017)

### 2.2.3.2 Topología de Red de un Sistema:

La forma como están comunicados los diferentes elementos dentro de una red, da lugar a lo que se denominan topologías de red (Rodríguez Penin, 2013):

- **Estrella.** Todos los nodos pasan a través de un nodo central
- **Anillo.** Los nodos se unen uno a continuación de otro, el primero se une al último, en la Figura 3, se puede apreciar esta topología.
- **Bus.** Todos los elementos se conectan a un bus de datos para comunicarse.

**Figura 3.** *Tipología tipo anillo*



Fuente: (Rodríguez Penin, 2013)

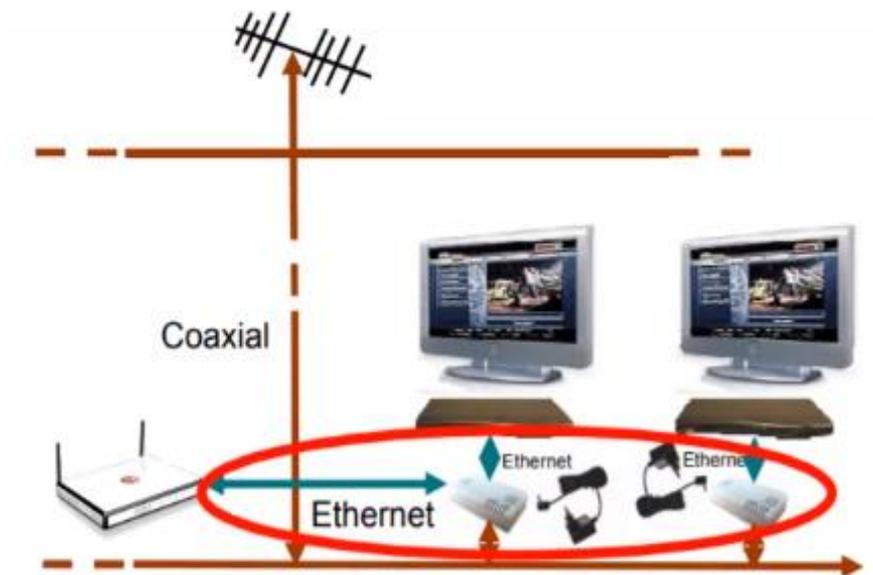
### **2.2.3.3 Medios de Transmisión**

Dentro de un sistema domótico pueden existir diferentes medios de transmisión y tecnologías para comunicar los diferentes dispositivos, de las cuales se describen los medios de comunicación alámbricos e inalámbrico.

**Medios de comunicación alámbricos.** Son sistemas que transmiten todas las señales o parte de ellas por medio de instalaciones eléctricas de baja tensión, como se observa en la Figura 4. También pueden ser transmitidas por diferentes tipos de cables de acuerdo a la función requerida, entre ellos se encuentran los cables de fibra óptica, pares trenzados, paralelo o coaxial. (Huidobro et al., 2007)

- **PLC.** Power Lines Connections.- Es una estructura utilizada en la transmisión y distribución de energía para transmitir energía eléctrica a grandes distancias. Consiste en uno o más cables eléctricos no aislados (comúnmente múltiplos de tres para energía trifásica) suspendidos por torres o postes.
- **X-10.** Este protocolo intercambia información a través de corrientes portadoras, controlando un limitado número de dispositivos, los cuales son relativamente económicos en relación con otros medios de comunicación, además su ancho de banda es de rango limitado. (Iglesias, 2016; Pico, 2018)

**Figura 4.** Escenario de redes alámbricas

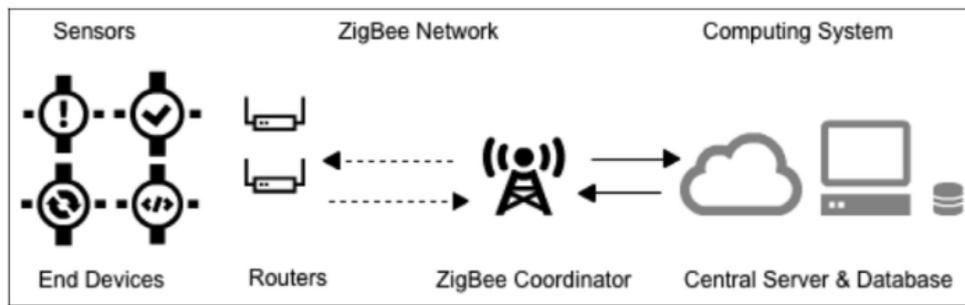


Fuente: (Gnazzo et al., 2011)

**Medios inalámbricos:** Son sistemas que utilizan señales radiadas como, por ejemplo: señales infrarrojas, radiofrecuencia, ultrasonidos, zigbee, WIFI, bluetooth o X-10. A continuación se describen algunas de estas señales:

- Señales de radiofrecuencia: Tienen mayor alcance que las señales infrarrojas y su comunicación proviene de ondas de radiofrecuencia.
- Bluetooth: Es utilizado en áreas reducidas cuando no se requieren grandes alcances de emisión, está diseñado para dispositivos de bajo consumo sin necesidades de ancho de banda.
- Zigbee: Es un protocolo estándar de comunicación para la radiodifusión digital. Emplea la estructura de red de malla, la cual brinda rápida comunicación entre los dispositivos y buen ancho de banda. Con la constante fabricación de nuevos dispositivos y propios métodos de comunicación, ZigBee, presenta un estándar inalámbrico para que todos los elementos puedan interconectarse entre sí (Ver Figura 5).

**Figura 5.** Sistema de comunicación inalámbrica ZigBee

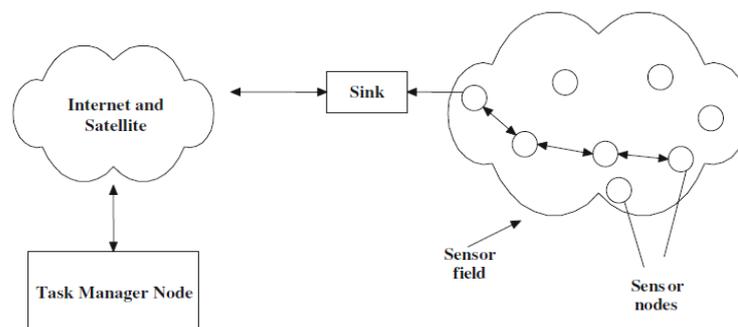


Fuente: (Jin-Lian et al., 2018)

### 2.3 Redes de Sensores Inalámbricos

Las redes de sensores inalámbricos (WSN) son un grupo de sensores y actuadores autónomos especializados con una infraestructura de comunicaciones inalámbricas, destinados a monitorear y controlar las condiciones físicas o ambientales en diversas ubicaciones y transferir cooperativamente sus datos a una ubicación principal y/o transferir su comando de control a un actuador deseado a través de la red. (Yang & Cao, 2008). La Figura 6 ilustra el concepto de WSN, donde los datos se recopilan de un nodo sensor y luego se transmiten a un nodo receptor, que está conectado a Internet o una red satelital. A través de Internet y la red de satélite, los datos recopilados finalmente son recibidos por una aplicación. Los nodos de sensores no tienen que tener una ubicación fija y la mayoría de ellos se implementan al azar para monitorear un campo de sensores. Los nodos sensores generalmente se comunican entre sí a través de un transceptor de radio incorporado.

**Figura 6.** Estructura de una red de sensores inalámbricos típica



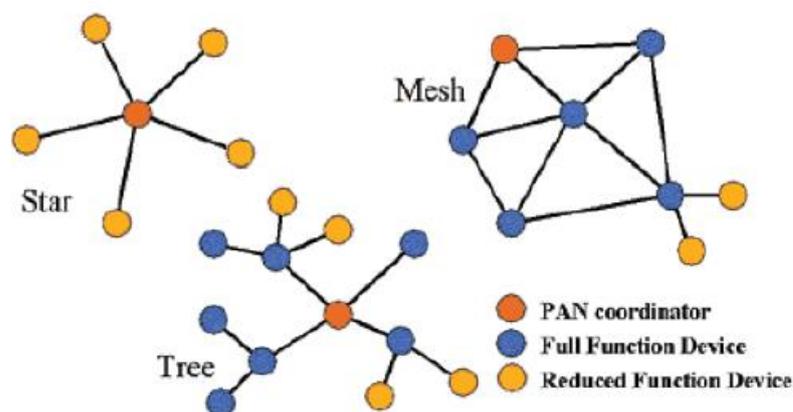
Fuente:(Akyildiz, Weilian Su, et al., 2002)

### 2.3.1 Principio de las Redes de Sensores Inalámbricos

El diseño de este tipo de red está destinado a recopilar información de sensores inalámbricos y enviar comandos de control a los actuadores conectados a la red inalámbrica.

En la Figura 7 se presentan las topologías que se pueden generar en una red de sensores inalámbricos con base en los tipos de dispositivos y funcionalidades de los mismos. Con base en estas funcionalidades de los nodos sensores, se generan las diferentes topologías de red: estrella, árbol y malla, cada una tiene sus propias características, ventajas y limitaciones. En la misma gráfica se pueden apreciar diferentes tipos de nodos sensores según sus funciones y tareas dentro de la red, donde los de mayor jerarquía serían los coordinadores PAN () y los de menor jerarquía o elementos de campo son los dispositivos de funciones reducidas. (Yang, 2013)

**Figura 7.** Topologías usadas en redes de sensores inalámbricos



Fuente: (Yang, 2013)

Los circuitos integrados recientes (IC) y los sistemas micro electromecánicos (MEMS) han madurado hasta el punto en que permiten la integración de comunicaciones inalámbricas, sensores y procesamiento de señales juntos en un único paquete de bajo costo, denominado nodo sensor (Schurgers & Srivastava, 2001). Dicho nodo sensor está equipado con capacidades de comunicación y procesamiento de datos. Un conjunto de tales nodos forma una red de sensores inalámbricos. Esto es factible implementar en nodos de sensores ultra pequeños en muchos tipos de áreas para recopilar

información. El circuito de detección mide las condiciones ambientales relacionadas con el entorno alrededor del sensor y las transforma en señales medibles. Después del procesamiento necesario, las señales se envían a un destino predefinido a través de un transmisor de radio. Todas estas operaciones son alimentadas por baterías para facilitar la implementación, ya que una fuente de alimentación tradicional (es decir, la red eléctrica) puede no estar disponible. Este tipo de soluciones inalámbricas para redes de sensores combina conectividad flexible con facilidad de instalación. El alcance de los sensores determina el rango de aplicaciones de las redes de sensores inalámbricos. Hay muchos tipos de sensores inalámbricos según el tipo de detección requerido (Akyildiz, Weilian, et al., 2002; Lewis, 2004):

- Temperatura
- Humedad
- Ondas acústicas
- Movimiento vehicular
- Estado de iluminación
- Presión
- Composición del suelo
- Niveles de ruido
- La presencia o ausencia de ciertos tipos de objetos
- Niveles de tensión mecánica en objetos adheridos
- Las características actuales como la velocidad, la dirección y el tamaño de un objeto.

### **2.3.2 Arquitectura Hardware de Nodos Sensor.**

Una arquitectura tiene como finalidad presentar esquemas de identificación sencillos que faciliten la comprensión de la ubicación de los componentes a los desarrolladores de un sistema. (Fuentes, 2018).

Debido a la gran cantidad de nodo sensores que se utilizan en la implementación de un sistema de red inalámbrica, éstos deben presentar características específicas como: económicos, capaces de almacenar grandes cantidades de información, pequeñas y eficientes con relación a la energía. De tal forma, los nodos sensores no pueden disponer de baterías de

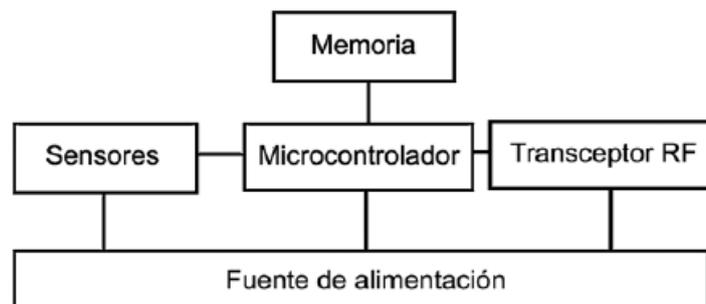
gran capacidad ni de prolongada duración ni tampoco de una fuente de alimentación principal debido a su reducido tamaño. Los nodos sensores deben ser de bajo precio y disponer de ahorro de energía, estos requerimientos exigen emplear procesadores de bajo consumo energético y transceptores de radio con un rango de transmisión y ancho de banda limitados. La arquitectura de nodo sensor está limitada a los requisitos de comunicación del sistema. Según (Yang, 2013), existen cuatro subsistemas principales que componen los nodos sensores que son:

- Un subsistema de detección que consta de uno o más sensores y actuadores para monitorear el entorno físico
- Un subsistema informático que consta de un microcontrolador o microprocesador con memorias para almacenar y procesar los datos recopilados por el subsistema de detección
- Un subsistema de comunicaciones que consta de un sistema de radio de corto alcance para la comunicación inalámbrica de datos.
- Un subsistema de suministro de energía, que normalmente usa baterías, que alimenta todo el nodo del sensor. Se podría incluir un generador de energía en este subsistema de suministro de energía si se emplean tecnologías de recolección de energía.

A continuación, se describirá cada uno de los subsistemas existentes: el primero, subsistema de detección, se puede dividir en dos partes. La primera parte consta de un elemento de detección que engloban los sensores que extraen información del ambiente físico por medio del nodo sensor y la transforma en una señal analógica, para luego ser convertida en datos digitales a través de un convertidor análogo-digital. La segunda parte está formada por un dispositivo de detección capaz de brindar funciones extras, como la detección de errores y solución mediante el procesamiento de los datos. El subsistema informático es el que procesa toda la información otorgada por el sensor, administra la batería de la red en cuanto a operación, asigna parámetros a los sensores y efectúa el control del protocolo de capa alta. En el subsistema de comunicaciones es donde se gasta la mayoría de la

energía que posee el nodo sensor y además es el encargado de transferir y receptor los paquetes de datos. Por último, el subsistema de suministro de energía está formado por una fuente de energía y un convertidor (DC-DC) que incluye una red de control auxiliar. Este convertidor entrega diferentes cargas voltaicas que soporta a todos los elementos de la red y ayuda de cierta manera al ahorro energético. La arquitectura básica inalámbrica de nodo sensor se describe en la Figura 8 (Yang, 2013):

**Figura 8.** *Arquitectura de nodo sensor*



Fuente: (Yang, 2013)

### 2.3.3 Áreas de Aplicación de las WSN

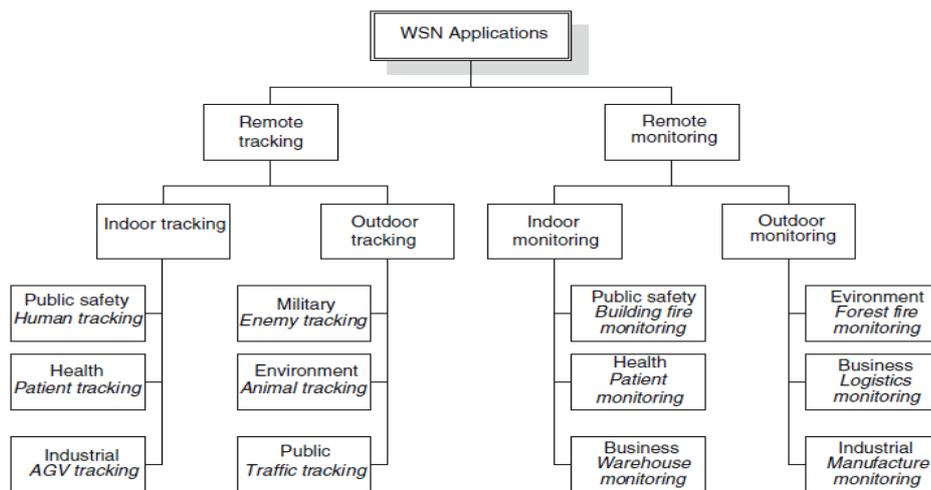
Las aplicaciones WSN se pueden clasificar en dos categorías: monitoreo remoto y rastreo de ubicación de objetos móviles. Ambas categorías se pueden dividir en aplicaciones para interiores y exteriores. La Figura 9 ofrece una clasificación de las posibles aplicaciones de las WSN, que es similar en estructura a la proporcionada por Yick et al. (2008).

Las aplicaciones militares incluyen monitorear fuerzas amigas, rastrear el movimiento enemigo, verificar el estado del equipo o detectar cualquier ataque nuclear, biológico o químico. Las aplicaciones militares incluyen monitorear fuerzas amigas, rastrear el movimiento enemigo, verificar el estado del equipo o detectar cualquier ataque nuclear, biológico o químico. Las aplicaciones ambientales incluyen el seguimiento del movimiento de los animales, la detección de incendios forestales o de edificios y la detección o detección de cualquier fuga de materiales químicos. Las aplicaciones comerciales o de logística incluyen rastreo de vehículos y objetos, monitoreo de inventario, entre otros.

A diferencia de las aplicaciones de rastreo de ubicación de objetos móviles, que necesitan una actualización en tiempo real de los resultados del rastreo, las aplicaciones de monitoreo remoto de las WSN miden las condiciones ambientales específicas periódicamente y envían datos de muestreo o advertencias principalmente en tres modos (Yang, 2013):

- Periódicamente en un intervalo de tiempo predefinido;
- Como resultado de un evento específico, esto ocurre a menudo cuando el valor de una medición específica alcanza un umbral predefinido;
- En respuesta a la interrogación de un usuario

**Figura 9.** Descripción general de las aplicaciones WSN



Fuente: (Yick et al., 2008)

## 2.4 Microcontrolador

Un microcontrolador es, de alguna manera, un cruce entre un microprocesador y una microcomputadora. El término microcontrolador se refiere a un solo dispositivo; sin embargo, contiene todo el microordenador en ese único chip. Por lo tanto, un microcontrolador tendrá un procesador, una memoria integrada y una variedad de dispositivos de E/S. Si bien el uso de un microcontrolador en lugar de un microordenador simplifica el diseño general, para lograrlo sacrifica la flexibilidad. Los microcontroladores generalmente se limitan a los tamaños de memoria y periféricos que dictan los fabricantes.

Hay una gran cantidad de opciones en microcontroladores y sus capacidades, sin embargo, esto aún puede ser una limitación en algunas

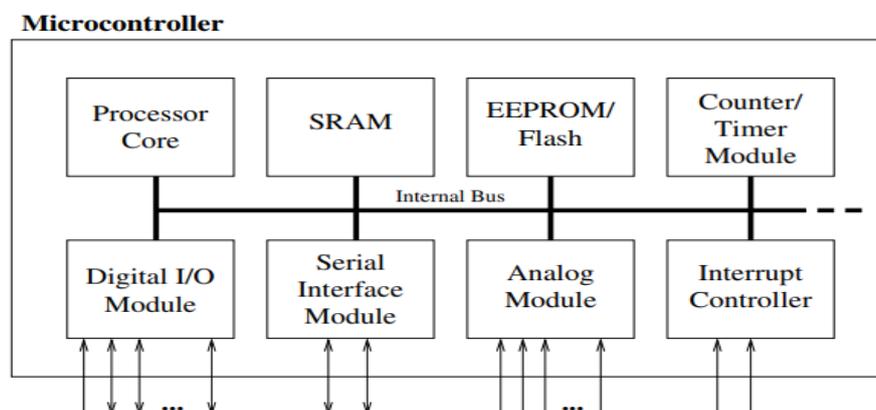
circunstancias. Debido a que los microcontroladores están diseñados más para ser dispositivos de control y recopilación de datos independientes que para la interacción humana o las tareas de red que las microcomputadoras suelen manejar, sus dispositivos de E/S estándar difieren. Los convertidores analógicos digitales (ADC), los temporizadores y las interrupciones externas son periféricos comunes que se encuentran en los microcontroladores, mientras que los teclados, monitores y otros dispositivos que se usan a diario para controlar una computadora personal no lo son, (P. Alley, 2011).

Hoy en día, la producción de microcontroladores asciende a miles de millones por año y los controladores están integrados en muchos dispositivos cotidianos, como (Gunther, 2007):

- Electrodomésticos (Microondas, Lavadora, Cafetera, entre otros)
- Telecomunicaciones (Teléfonos Móviles)
- Industria automotriz (Inyección De Combustible, Abs, entre otros)
- Industria Aeroespacial
- Automatización Industrial

En la Figura 10 se presenta un diagrama de bloques, el cual muestra a todos los componentes conectados entre sí mediante un bus interno y todos ellos están integrados en un solo chip. Dichos módulos se conectan al mundo exterior a través de pines de entrada y salida.

**Figura 10.** *Diseño básico de un microcontrolador*



Fuente: (Gunther, 2007)

Los módulos de diagrama se describen a continuación:

- Núcleo del procesador: Compuesto básicamente por la CPU del controlador; la cual contiene la unidad aritmética lógica, los registros y la unidad de control.
- Memoria: la memoria se divide en memoria de programa y memoria de datos. En controladores más grandes, un controlador DMA maneja las transferencias de datos entre los componentes periféricos y la memoria.
- Controlador de interrupciones: Las interrupciones son colisiones que interrumpen el flujo normal del programa en caso de eventos externos o internos. También es importante el control de prioridad para el caso de que se produzca una interrupción mientras se está procesando otra.
- Temporizador/Contador: se los utiliza para medir intervalos, marcar hora de eventos, contabilizar eventos o marcar la hora, los controladores suelen tener entre 2 a 3 temporizadores/contadores. Muchos controladores también contienen salidas PWM (modulación de ancho de pulso).
- E/S digital: Los microcontroladores poseen puertos de E/S digitales paralelos, cuyos pines de entrada/salida varía de 3-4 a más de 90, dependiendo de la familia y el tipo de controlador.
- E/S analógicas: Aparte de unos pocos controladores pequeños, la mayoría de los microcontroladores tienen convertidores analógicos/digitales integrados, que difieren en el número de canales (2-16) y su resolución (8-12 bits). El módulo analógico también presenta generalmente un comparador analógico.
- Interfaces: Las interfaces seriales se las puede utilizar como medio de comunicación con dispositivos periféricos externos, la mayoría de los controladores ofrecen diversas interfaces como SPI y SCI. Los controladores generalmente tienen al menos una interfaz en serie que se puede utilizar para descargar el programa y para la comunicación con la PC de desarrollo en general.
- Temporizador Watchdog o perro guardián: Es importante proteger contra errores que puedan producirse en el hardware o en el programa,

por esto los sistemas de seguridad forman parte fundamental en el área de aplicación de los microcontroladores. Este elemento es usado para la vigilancia del software, en caso de detectar algún fallo, el temporizador restablecerá el controlador.

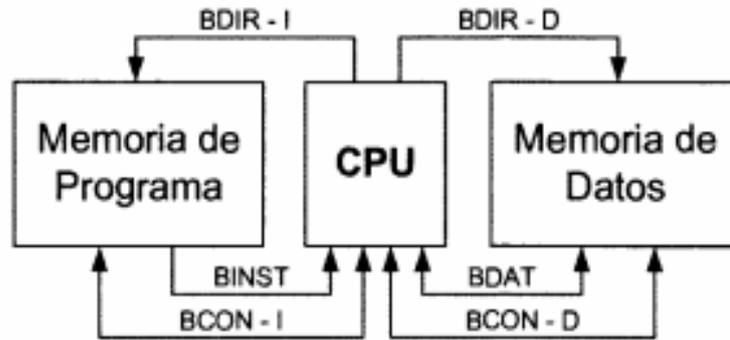
- Unidad de depuración: Algunos controladores tienen un hardware que permite depurar el chip directamente desde la computadora. La ventaja de este componente es que no se necesita la descarga de un programa o software que ejecute la depuración, sino que la unidad de depuración se encarga de hacerlo cuando sea necesario. (Gunther, 2007)

#### **2.4.1 Arquitectura de un Microcontrolador**

La arquitectura Harvard es un modelo general del hardware del computador, el cual entrega soluciones a los problemas referentes a la conexión del CPU con la memoria y el orden en cuanto a los datos e instrucciones que almacena la memoria. Dicha arquitectura está dividida en memoria de programa y memoria de datos, la cual usa memorias separadas, una para las instrucciones y otra para los datos. Además, los dispositivos también usan sus propios buses de comunicación para cada tipo de memoria. La memoria de datos permite leer y escribir, a diferencia de la memoria del programa que solo sirve para lectura. La arquitectura Harvard consta de una banda ancha mejorada en comparación con la de las tradicionales computadoras que usan la arquitectura Von Neumann (la arquitectura Von Neumann accede a los datos y la memoria mediante el mismo bus). La arquitectura Harvard permite otras mejoras como, por ejemplo, las instrucciones pueden tener un tamaño diferente al de los datos de 8 bits.

En la Figura 11 se describe el esquema que presenta la arquitectura Harvard, en donde se pueden apreciar el uso de memorias separadas conectadas al CPU a través de buses de direcciones de instrucciones (BDIR-I) y a su vez de direcciones de datos (BDIR-D). Buses de instrucciones (BINST) y de datos (BDAT) y por último los buses de control de instrucciones (BCON-I) y de datos (BCON-D). (Valdés Pérez & Pallás Areny, 2007)

**Figura 11. Arquitectura Harvard**



Fuente: (Valdés Pérez & Pallás Areny, 2007)

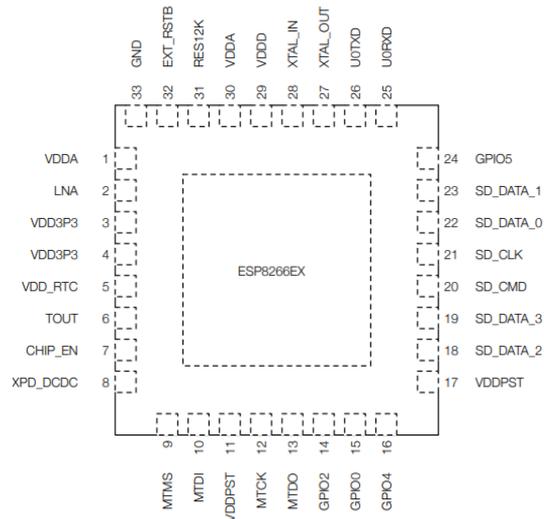
#### **2.4.2 Microcontrolador ESP8266**

Es un sistema en chip de bajo costo y alto rendimiento de Wi-Fi a módulo serial, parte de la “Plataforma de conectividad inteligente” de Espressif System que tiene como objetivo proporcionar a los diseñadores de plataformas móviles innovación en sistemas con capacidades de Wi-Fi integradas al menor costo con la mayor funcionalidad. ESP8266 ofrece una solución de red Wi-Fi completa y autónoma, lo que le permite alojar la aplicación o descargar todas las funciones de red Wi-Fi de otro procesador de aplicaciones.

Cuando ESP8266 aloja la aplicación, y cuando es el único procesador de aplicaciones en el dispositivo, puede iniciarse directamente desde una memoria flash externa. Tiene caché integrado para mejorar el rendimiento del sistema en dichas aplicaciones y minimizar los requisitos de memoria. Alternativamente, al funcionar como un adaptador Wi-Fi, el acceso inalámbrico a Internet se puede agregar a cualquier diseño basado en microcontroladores con conectividad simple a través de la interfaz UART o la interfaz de puente CPU AHB. (Ugalde et al., 2017)

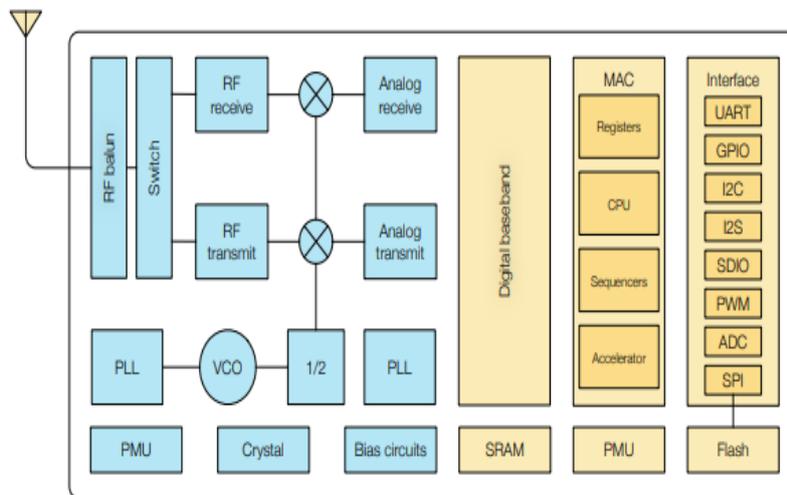
En la Figura 12 se muestra la disposición de los pines del microcontrolador vista desde la capa superior y a continuación se presenta del diagrama funcional que se muestra en la Figura 13.

**Figura 12. Pin Layout**



Fuente: (Espressif Systems, 2020)

**Figura 13. Diagrama de bloques**



Fuente: (Espressif Systems, 2020)

### **Especificaciones del microcontrolador ESP8266**

El microcontrolador ESP8266 es una herramienta que puede ser utilizada para el desarrollo de aplicaciones y sistemas autónomos. Está compuesto por una arquitectura Harvard, es decir que, puede ejecutar dos acciones al mismo tiempo: acceder a la memoria de datos y leer una instrucción. Además, no es necesario que tenga memoria caché para realizar dichas acciones. En la Tabla 1 se describen las especificaciones técnicas y según (Espressif Systems, 2020) las características del microcontrolador

ESP8266 son:

- Protocolo 802.11 b / g / n
- Wi-Fi Direct (P2P), Soft-AP
- Pila de protocolo TCP / IP integrada
- Interruptor TR integrado, balun, LNA, amplificador de potencia y red correspondiente PLL, reguladores y unidades de administración de energía integrados
- + 19.5dBm de potencia de salida en modo 802.11b
- Sensor de temperatura integrado
- Admite diversidad de antenas
- Apague la corriente de fuga de <10uA
- La CPU integrada de 32 bits de baja potencia se puede utilizar como procesador de aplicaciones
- SDIO 2.0, SPI, UART
- STBC, 1 × 1 MIMO, 2 × 1 MIMO
- Agregación A-MPDU y A-MSDU e intervalo de guarda de 0.4µs
- Despertar y transmitir paquetes en <2ms
- Consumo de energía en espera de <1.0mW (DTIM3)

**Tabla 1.** *Especificaciones del Microcontrolador ESP8266*

<b>ESPECIFICACIONES</b>	
<b>Voltaje</b>	3.3 V
<b>Consumo de corriente</b>	10µA – 170Ma
<b>Memoria Flash</b>	16 MB máx. (512 k normal)
<b>Procesador</b>	Tensilica L106 32 bits
<b>Velocidad del procesador</b>	80 -160 MHz
<b>GPIOs</b>	17
<b>Analógico a digital</b>	1 entrada con 10 bit de resolución (1024 valores)
<b>Soporte de 802.11</b>	b/g/n/d/e/i/k/r
<b>Máximas conexiones simultáneas</b>	5

Fuente: El Autor

## **Aplicaciones**

(Espressif Systems, 2020) expresa que las aplicaciones más comunes de

estos microcontroladores son:

- Enchufes inteligentes
- Domótica
- Red de malla
- Control inalámbrico industrial
- Cámaras IP
- Redes de sensores
- Electrónica usable
- Dispositivos con reconocimiento de ubicación Wi-Fi
- Etiquetas de identificación de seguridad

## **2.5 Sistemas Multi-agente**

Los sistemas de agentes múltiples o mejor conocidos como sistemas multi-agentes, son sistemas informáticos que se encuentra en algún entorno, y que son capaces de actuar de forma autónoma en este entorno para cumplir con sus objetivos de diseño. Como este problema suele estar más allá de las capacidades individuales de los agentes, los agentes explotan su capacidad para comunicarse, cooperar, coordinarse y negociar entre ellos. Aparentemente, estas complejas interacciones sociales dependen de las circunstancias y pueden variar desde la cooperación altruista hasta el conflicto abierto. Por lo tanto, en los sistemas de múltiples agentes uno de los temas centrales es el estudio de cómo funcionan los grupos y cómo se puede implementar la tecnología que mejora las interacciones complejas. Un ejemplo paradigmático de actividad conjunta es el trabajo en equipo, en el que un grupo de agentes autónomos optan por trabajar juntos, tanto para el avance de sus propios objetivos individuales como para el bien del sistema en su conjunto. (Sycara & Lewis, 2004)

### **2.5.1 Características de los Multi-agentes**

Con relación a sus características, según (Dunin-Kęplicz & Verbrugge, 2010) se pueden señalar los siguientes aspectos que muestran el enfoque del trabajo en equipo que realizan:

- Trabajar juntos para lograr un objetivo común.

- Monitorear constantemente el progreso del esfuerzo del equipo en su conjunto.
- Ayudarse unos a otros cuando sea necesario.
- Coordinar acciones individuales para que no interfieran entre sí.
- Comunicar éxitos y fracasos (parciales) si es necesario para que el equipo tenga éxito.
- No hay competencia entre los miembros del equipo con respecto al logro del objetivo común.

El trabajo en equipo es un asunto muy complejo, que se puede caracterizar de diferentes maneras. Una distinción es que el trabajo en equipo se puede definir principalmente:

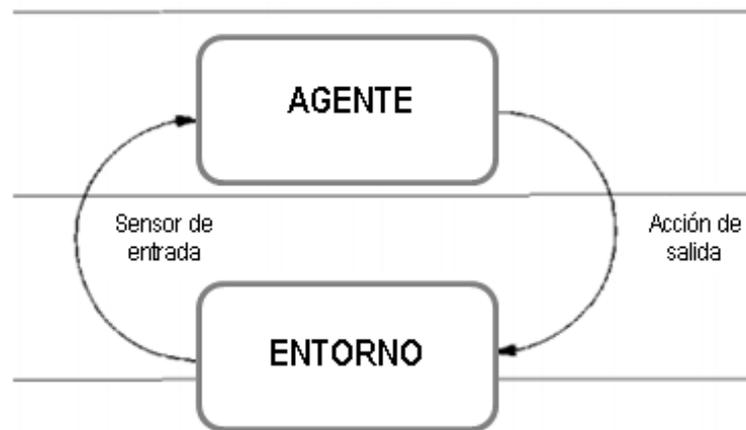
1. En términos de lograr un determinado resultado, donde los roles de los agentes son primordiales.
2. En cuanto a las motivaciones de los agentes, donde los compromisos de los agentes son tratados como parte esencial para el desarrollo de sus funciones.

### **2.5.2 Trabajo de los Agentes**

El agente toma información sensorial del medio ambiente y produce como salida acciones que lo afectan. La interacción suele ser continua y no termina. En la Figura 14, podemos ver la salida de la acción generada por el agente para afectar su entorno.

En la mayoría de los dominios de complejidad razonable, un agente no tendrá un control completo sobre su entorno. Tendrá en el mejor de los casos un control parcial, ya que puede influir en él. Desde el punto de vista del agente, esto significa que la misma acción realizada dos veces en circunstancias aparentemente idénticas puede parecer tener efectos completamente diferentes y, en particular, puede no tener el efecto deseado. Por lo tanto, los agentes en todos los entornos, excepto en los más triviales, deben estar preparados para la posibilidad de fallar. Se puede resumir esta situación formalmente diciendo que, en general, se supone que los entornos no son deterministas. (Wooldridge, 2009)

**Figura 14.** *Un agente en su entorno*



Fuente: (Wooldridge, 2009)

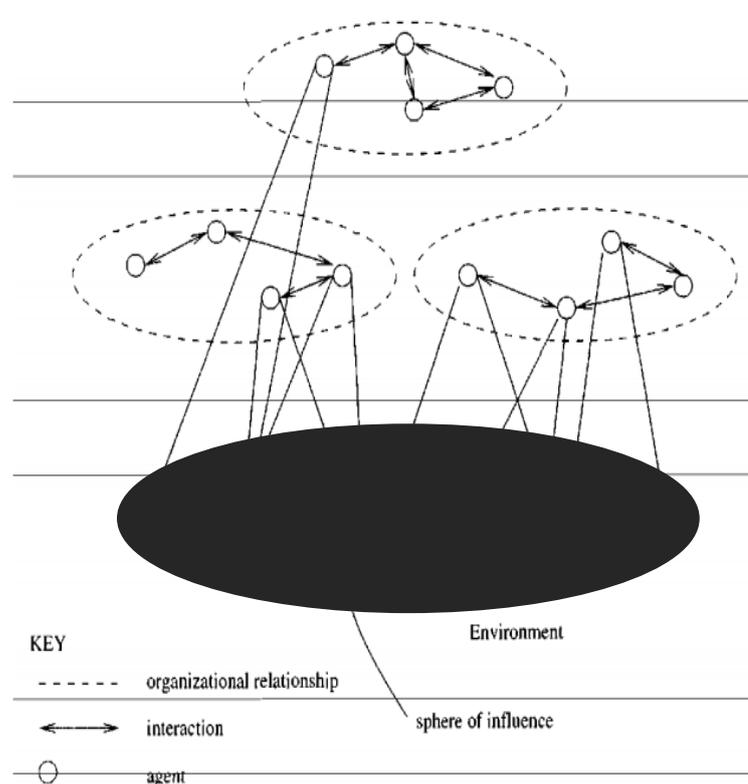
### **2.5.3 Estructura de los Multi-agentes**

Todos los sistemas, excepto el más trivial, contienen una serie de subsistemas que deben interactuar entre sí para llevar a cabo sus tareas con éxito. La Figura 15 ilustra la estructura típica de un sistema multi-agente. El sistema contiene una serie de agentes que interactúan entre sí a través de la comunicación.

Los agentes pueden actuar en un entorno; diferentes agentes tienen diferentes "esferas de influencia", en el sentido de que tendrán control sobre, o al menos podrán influir, en diferentes partes del medio ambiente. Estas esferas de influencia pueden coincidir en algunos casos.

La coincidencia de estas esferas de influencia puede dar lugar a relaciones de dependencia entre los agentes. Por ejemplo, es posible que dos agentes robóticos puedan atravesar una puerta, pero es posible que no puedan hacerlo simultáneamente. Por último, los agentes también suelen estar vinculados por otras relaciones. Algunos ejemplos pueden ser las relaciones de "poder", en las que un agente es el "jefe" de otro. (Wooldridge, 2009)

**Figura 15. Estructura típica de un sistema multi-agente**



Fuente: (Jennings, 2000)

### 2.5.3.1 Planificación y Sincronización

Un tema evidente en la resolución de problemas de múltiples agentes es el de planificar las actividades de un grupo de agentes. La planificación de múltiples agentes debe tener en cuenta el hecho de que las actividades de los agentes pueden interferir entre sí, por lo que sus actividades deben estar coordinadas. Como lo explica (Durfee, 1999) existen tres posibilidades para la planificación de agentes múltiples:

**Planificación centralizada.** Para planes distribuidos: un sistema de planificación centralizada desarrolla un plan para un grupo de agentes, en el que se define la división y ordenación del trabajo. Este agente "maestro" luego distribuye el plan a los "esclavos", quienes luego ejecutan su parte del plan.

**Planificación distribuida.** Un grupo de agentes coopera para formar un plan centralizado. Normalmente, los agentes que lo componen serán "especialistas" en diferentes aspectos del plan general y contribuirán a

una parte del mismo. Sin embargo, los agentes que forman el plan no serán los que lo ejecuten; su papel es meramente generar el plan.

**Planificación distribuida para planes distribuidos.** Un grupo de agentes coopera para formar planes de acción individuales, coordinando dinámicamente sus actividades en el camino. Los agentes pueden estar interesados en sí mismos y, por lo tanto, cuando surgen problemas potenciales de coordinación, es posible que deban resolverse mediante una negociación.

En general, la planificación centralizada será más simple que la planificación descentralizada, porque el "maestro" puede tener una visión general y puede dictar las relaciones de coordinación según sea necesario. El caso más difícil de considerar es el tercero. En este caso, es posible que nunca haya un plan "global". Los agentes individuales solo pueden tener partes del plan que les interesan.

## **2.6 Modelado UML**

El modelado UML permite especificar y principalmente documentar modelos de sistemas, se pretende estandarizar los modelos orientados a objetos de forma tal que un sistema de cualquier índole se pueda modelar de forma correcta, y que permita la comunicación con otras aplicaciones. (García, 2016)

UML hoy en día es considerado como un lenguaje de modelación extendido, por su riqueza semántica. En UML cualquier objeto que se defina posee atributos y métodos, dichos objetos interactúan para realizar operaciones que definen sus comportamientos. (Van Der Heyde & Debrauwer, 2018)

Al momento de crear un sistema, en la fase de análisis es importante crear un esquema de modelado con la finalidad de asegurar que el esquema modela los aspectos más importantes del problema a solucionar (Garrido et al., 2017). De forma general es importante realizar una buena definición del modelo que permita establecer una correcta relación entre los objetos, las relaciones y sus clases.

El modelado de software es clave en el desarrollo de aplicaciones informáticas, es una forma gráfica de visualizar, construir y documentar un sistema, además de que pueden utilizarse para la comunicación con el cliente (Baquero et al., 2016). Su finalidad radica en ayudar a comprender mejor los sistemas complejos, a través de símbolos visuales.

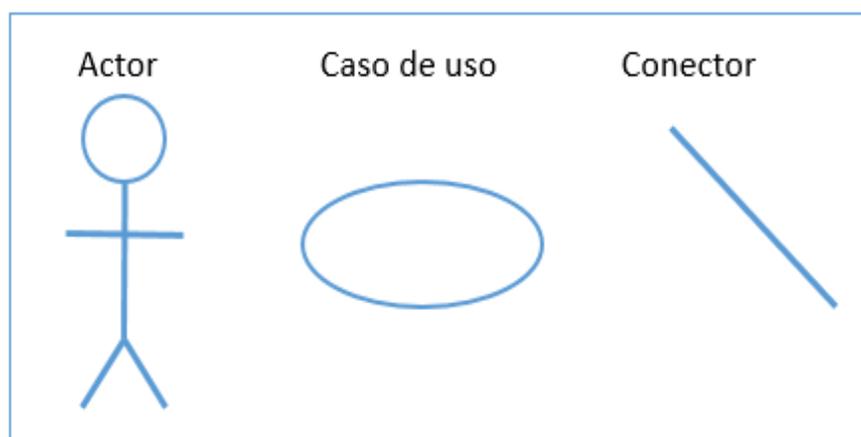
Los diagramas UML se clasifican según su estructura, comportamiento e interacción. Los diagramas de estructura definen como se encuentra el software; los diagramas de comportamiento se refieren a la forma en que se ejecutan las instrucciones o como se dan las actividades dentro del sistema y los diagramas de interacción modelan un comportamiento en particular entre los elementos del sistema.

### 2.6.1 Diagramas de Casos de Uso

Los diagramas de casos de uso son técnicas que se utilizan para especificar requisitos funcionales de un sistema. Se intenta modelar la funcionalidad del sistema tal como los agentes externos la perciben, estos agentes se los conoce como: actores (Kimmel, 2011). El objetivo de los diagramas de casos de uso es describir de qué forma será utilizado un sistema en particular y especificar de forma visual las funcionalidades del mismo.

- Simbología de los diagramas de casos de uso: se componen de varios símbolos: el actor, conectores y óvalos del caso de uso (Ver Figura 16).

**Figura 16.** Elementos de diagramas de casos de uso



Fuente: (Kimmel, 2011)

- Actores. - Son personas o cosas que se comunican con el sistema. No necesariamente son usuarios del sistema.
- Casos de uso. - Se representan con elipses junto con el nombre del caso o función del sistema. Un caso de uso se representa como un conjunto de eventos que se produce cuando un actor utiliza un sistema para realizar un proceso.
- Conectores. - Se representan con líneas continuas, que significa la participación del actor en el caso de uso.

Pueden existir casos de uso similares o relacionarse unos con otros. Un ejemplo en el que se suelen seguir pasos similares es al momento de la quema de canciones en un CD y al transferir una lista de reproducción a un iPod. En ambos escenarios, se debe crear una carpeta vacía para luego adicionar las canciones de la biblioteca. Una forma de evitar que exista la duplicación en los casos de uso es, crear otro caso de uso que sea la representación de la tarea que se quiere duplicar, luego este caso de uso creado se lo podrá incluir en otros casos de uso, si así se lo requiere. En la Figura 17 se puede observar la inclusión de tales casos de uso, a través de una flecha punteada, la cual recibe la etiqueta de "incluye", la cual es la conexión entre un caso de uso normal con un caso de uso incluido. (Pressman, 2013)

## 2.6.2 Diagramas de Secuencia

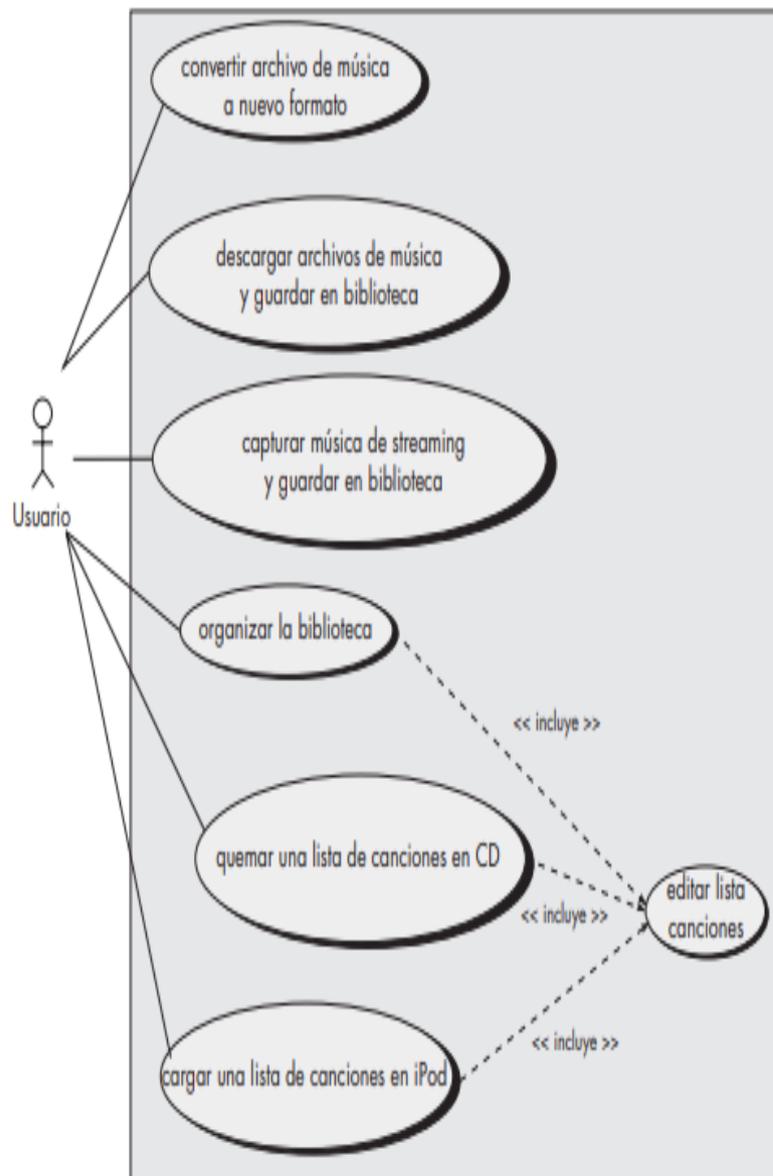
Un diagrama de secuencia describe como los objetos se interconectan e intercambian mensajes siguiendo un orden específico. Los bloques de construcción básicos de los diagramas son representados por los objetos, y muestran las características de un elemento del sistema que dependen del diagrama. Los objetos son conocidos como líneas de vida (García, 2016).

Generalmente en un sistema se genera solicitudes y se envían respuestas, un diagrama de secuencia representa una ruta específica que sigue el procesamiento de dichas solicitudes.

Un diagrama de secuencias se diferencia de un diagrama de casos de uso en su orden detallado. El diagrama de secuencia, permite visualizar sub-

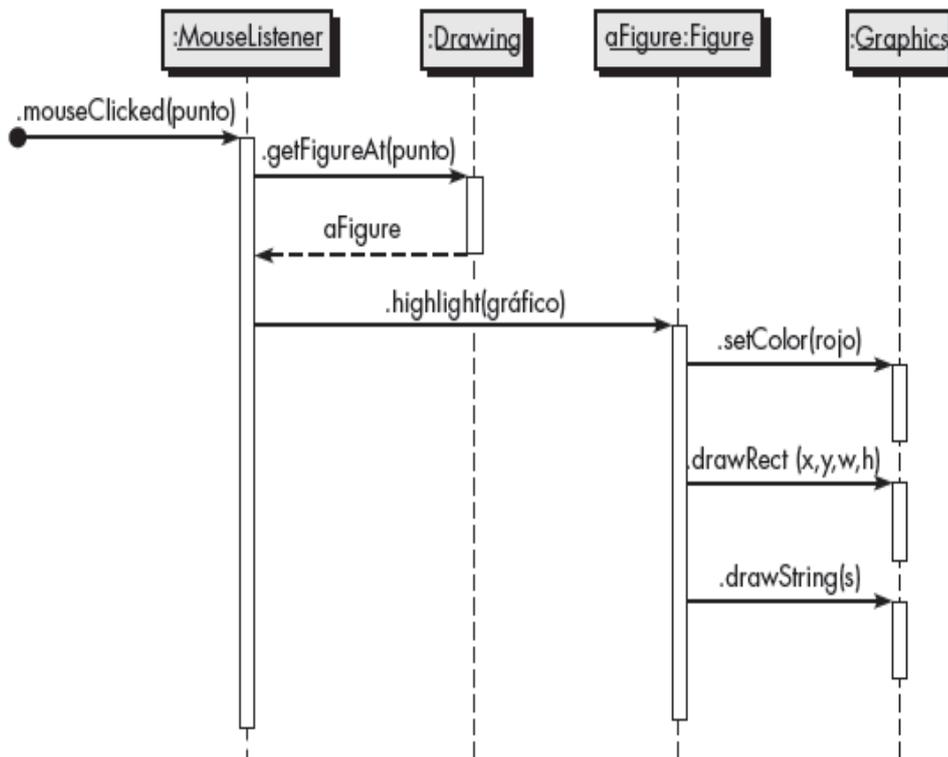
áreas individuales con mayor precisión y poner a prueba las relaciones lógicas del caso de aplicación del entorno real. Los diagramas de secuencia son útiles cuando es necesario mostrar gráficamente operaciones complicadas para su mejor comprensión. Si el modelado está bien realizado es posible identificar las instancias por las que debe pasar una tarea para que se ejecutada exitosamente. En la Figura 18 se puede observar la estructura de un diagrama de secuencia.

**Figura 17.** Ejemplo de diagrama de caso de uso



Fuente: (Pressman, 2013)

**Figura 18.** Ejemplo de diagrama de secuencia



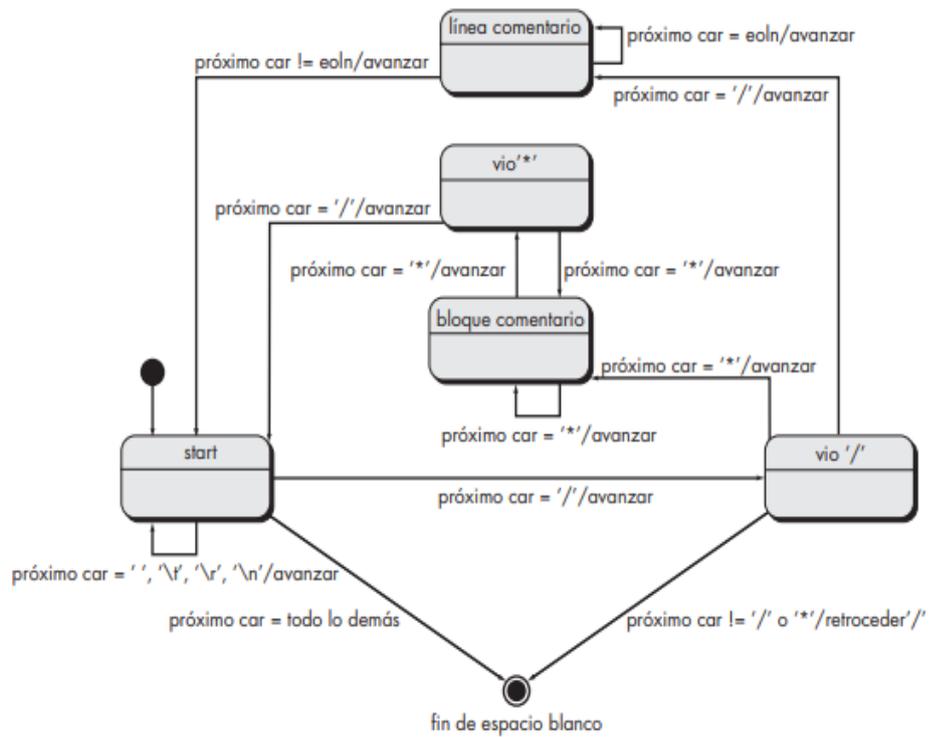
Fuente: (Pressman, 2013)

### 2.6.3 Diagramas de Estado

Un diagrama de estado UML (también llamado diagrama de estado, diagrama de transición de estados o diagrama de máquina de estados) muestra los estados por los que pasa una máquina de estados finitos, es decir, un modelo de comportamiento que consiste en acciones y estados o transiciones a otros estados.

El diagrama proporciona un estado inicial y uno final, así como al menos un estado intermedio para cada objeto, como se puede apreciar en la Figura 19. El diagrama de estado permite, de este modo, representar el ciclo de vida completo de cualquier sistema, subsistema o componentes o clases del mismo, como podrían ser una máquina de café, un lector de libros electrónicos o un componente tecnológico de un vehículo.

**Figura 19.** Ejemplo de diagrama de estado



Fuente: (Pressman, 2013)

## 2.7 Redes de Petri

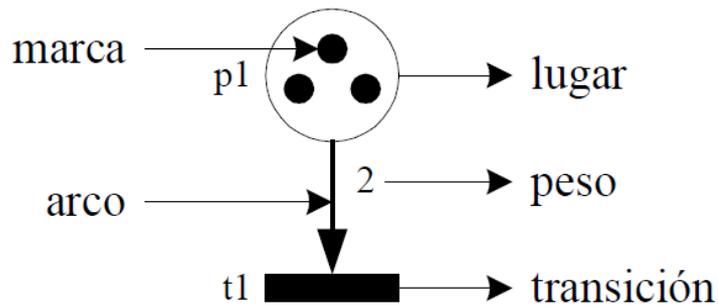
Las redes de Petri son una herramienta matemática que puede servir para modelar el comportamiento dinámico de sistemas de eventos. Las redes de Petri tienen una representación gráfica fiel y conveniente. Una red de Petri tiene dos componentes: una red y una marca inicial. Una red es un gráfico dirigido con dos tipos de nodos, de modo que no hay borde entre dos nodos del mismo tipo.

### 2.7.1 Elementos de una Red de Petri:

Está compuesta generalmente de dos elementos estructurales:

**Elementos Estáticos:** Están conformados por dos elementos, los cuales se muestran en la Figura 20, lugares, el cual su representación es una circunferencia y transiciones, representado por un segmento rectilíneo), estos dos símbolos están unidos mediante arcos formando la estructura de la red. Es importante tener en consideración que la unión con el arco no debe darse con componentes del mismo tipo.

**Figura 20.** Símbolos de una Red de Petri

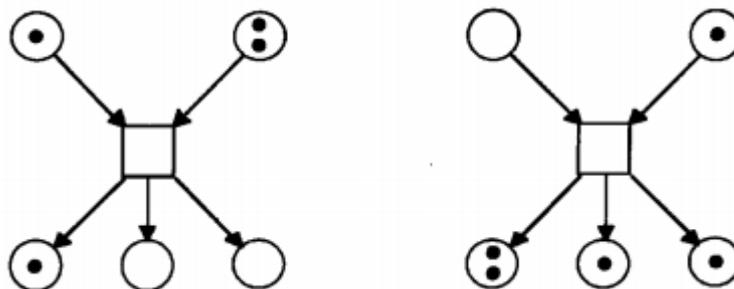


Fuente: (V. Torres, 2017)

**Elementos dinámicos:** Las marcas son representadas por un punto en negro, cuando existan marcas en algún lugar de la red, se dice que está marcado.

Los lugares pueden almacenar fichas, representadas por puntos negros. Una distribución de fichas en los lugares de una red se denomina marca y corresponde al "estado" de la red de Petri. Una transición de una red se habilita en una marca si todos sus lugares de entrada (los lugares desde los cuales algún borde conduce a ella) contienen al menos una ficha. Puede ocurrir una transición habilitada, y su ocurrencia cambia el marcado de la red: quita un token de cada uno de los lugares de entrada de la transición y agrega un token a cada uno de sus lugares de salida, la Figura 21 muestra a la izquierda una red de Petri que contiene una transición habilitada, cuya ocurrencia cambia la marca a la que se muestra a la derecha. (Desel & Esparza, 2005)

**Figura 21.** Red de Petri antes y después de la ocurrencia

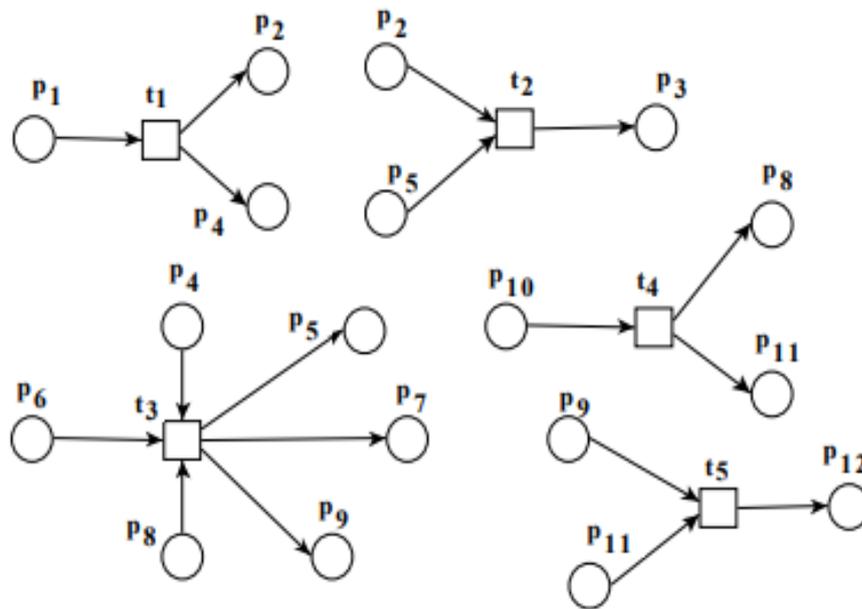


Fuente: (Desel & Esparza, 2005)

## 2.7.2 Representación Gráfica y Algebraica

En la Figura 22, las acciones  $t_1$  y  $t_4$  se dibujan con sus condiciones previas y posteriores. El nombre formal de esta forma se denomina transiciones. Las condiciones están representadas por círculos que se llaman lugares. Además, también se muestra todas las transiciones del ejemplo. Los lugares, las transiciones y los arcos juntos forman una red. (Girault & Valk, 2001)

**Figura 22.** Acciones representadas por transiciones

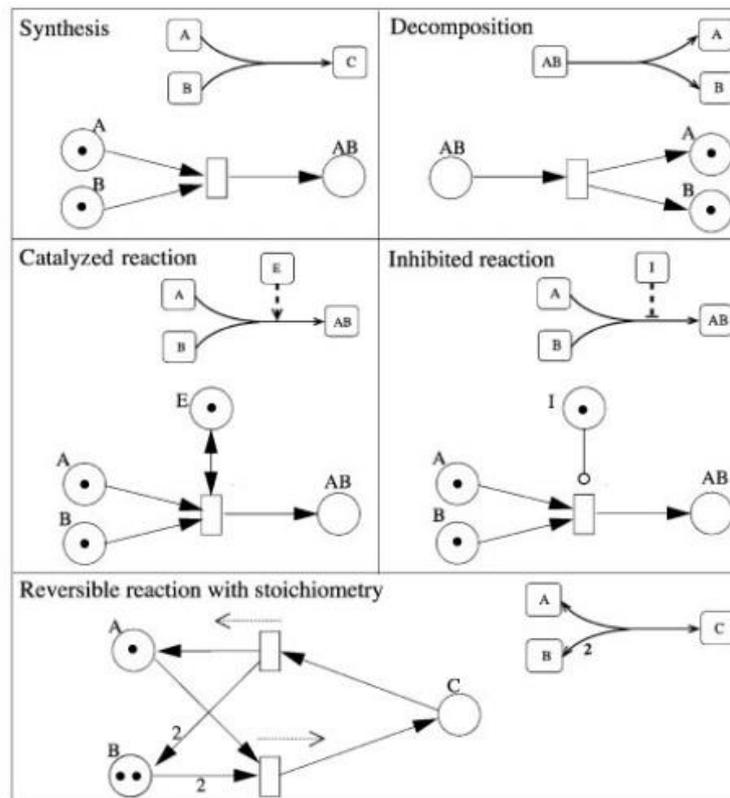


Fuente: (Girault & Valk, 2001)

### 2.7.2.1 Diferentes Reacciones Básicas de Modelado en Redes de Petri

Entre los modelados de RdP se encuentran las siguientes reacciones básicas, como se muestra en la Figura 23 y como se describe a continuación: síntesis, descomposición, catálisis, inhibición y reacción reversible. En el caso de la catálisis, el lugar de la enzima está vinculado a la transición por un arco de prueba. Para la inhibición, el lugar del inhibidor está vinculado a la transición por un arco inhibidor (que permite una "prueba a cero": la transición se habilita cuando el lugar no está marcado). La reacción reversible está representada por dos transiciones separadas (una para cada dirección) (Chaouiya, 2007).

**Figura 23.** Reacciones básicas de modelado en Redes de Petri



Fuente: (Chaouiya, 2007)

### 2.7.3 Propiedades

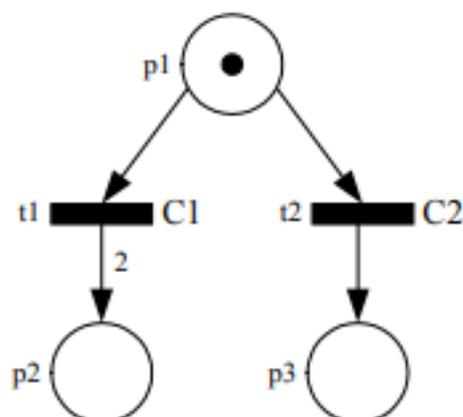
Se pueden plantear una serie de propiedades en las redes de Petri, si bien es cierto, no se garantiza que la red cumpla un correcto funcionamiento, pero al menos se pueden disminuir la presencia de algunos errores potenciales. Una de las principales fortalezas de las redes de Petri es su soporte para el análisis de muchas propiedades y problemas asociados con los sistemas concurrentes. Se pueden estudiar dos tipos de propiedades: las que dependen del marcado inicial y las que son independientes del marcado inicial. El primer tipo de propiedades se denomina propiedades de comportamiento o dependientes del marcado, mientras que el último tipo de propiedades se denomina propiedades estructurales (Tadao, 1989). Las propiedades según su comportamiento son: vivacidad, limitación, y conflictos, las cuales se describen a continuación:

- **Vivacidad:** Esto implica que para cualquier marca M alcanzable, en última instancia, es posible disparar cualquier transición en la red progresando a través de alguna secuencia de disparo. Sin embargo,

este requisito puede ser demasiado estricto para representar algunos sistemas o escenarios reales que muestran un comportamiento sin interbloqueo. Por ejemplo, la inicialización de un sistema puede modelarse mediante una transición (o un conjunto de transiciones) que disparan un número finito de veces. Después de la inicialización, el sistema puede exhibir un comportamiento libre de interbloqueo, aunque la red de Petri que representa este sistema ya no está activa como se especificó anteriormente. Por esta razón, se definen diferentes niveles de vida para la transición  $t$  y el marcado  $M_0$ .

- Limitación: Se dice que una Red de Petri es  $n$ -limitada para un marcado inicial  $n$ , siempre y cuando el número de marcas máximo que pueda tener la red en cualquier lugar sea  $n$ . Si el número máximo de marcas que tiene la Red es 1, entonces se puede decir que la red de Petri es binaria o 1-limitada. Para la representación física de la red esta propiedad es una condición primordial.
- Conflicto: El grupo de transiciones que llegan de un mismo lugar están en conflicto si la intersección lógica de las condiciones puede satisfacerse simultáneamente, es decir es nula. La efectividad del conflicto potencial se da cuando están sensibilizadas varias de las transiciones y satisfaciéndose sus condiciones relacionadas al sitio de entrada, no se encuentran tokens suficientes para ser disparados simultáneamente. (Torres, 2017). Ver Figura 24

**Figura 24.** *Conflicto efectivo*

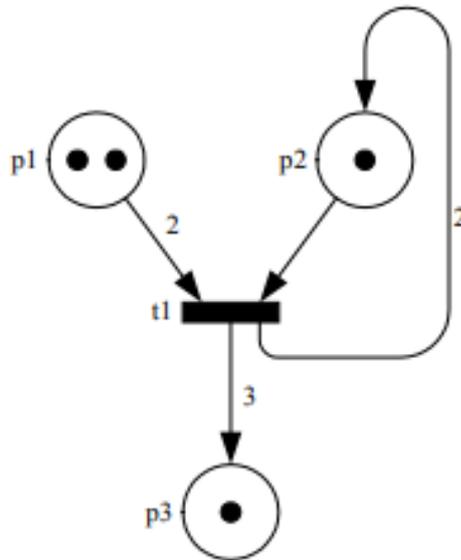


Fuente: (David & Alla, 2010)

#### 2.7.4 Ejemplo de Funcionamiento de una Red de Petri

En la Figura 25 se describe una acción básica de una red de Petri, donde se observa que existe un conjunto de lugares de entrada para la transición  $t_1$ , llamados  $(p_1, p_2)$ ; y los lugares de salida, compuestos a su vez por los lugares  $(p_2, p_3)$ .

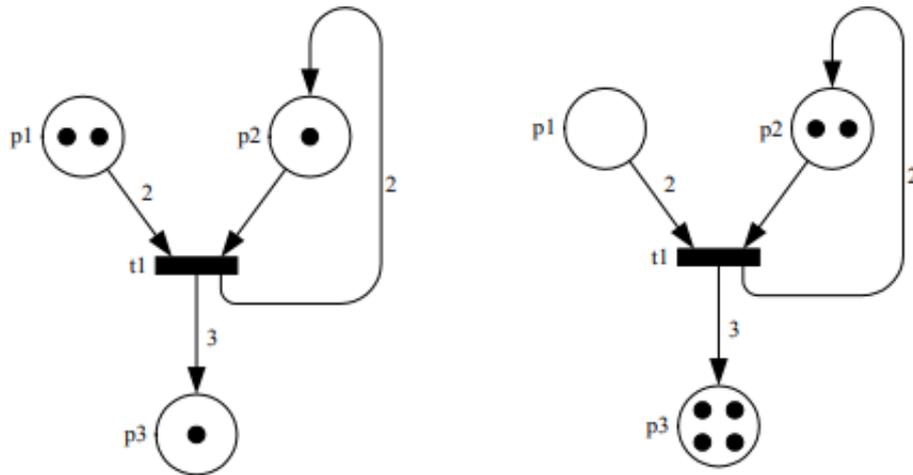
**Figura 25.** Lugares de entrada y salida



Fuente: (David & Alla, 2010)

El estado de una red de Petri avanza y se modifica, cuando cambia su marcado como se observa en Figura 26, es decir, al lanzar alguno de los tokens. La acción realizada por la red responde a los comandos asignados, entonces para que se ejecute el cambio de estado, la transición debe estar sensibilizada y ser franqueable. Se dice que una transición está sensibilizada si los sitios de entrada tienen un número de tokens igual o superior al peso de los arcos correspondientes. Para que la transición sea franqueable o pueda ser disparada, debe cumplir con la condición asignada. Si la transición cumple con las dos condiciones, cambiará de estado, disparando la marca. Cuando esto ocurre se quitarán tantas marcas de las entradas como el peso del arco conectado a cada transición indique, y a su vez, se agregan tantas marcas a los lugares de salidas como el arco correspondiente lo mencione. (Girault & Valk, 2001)

**Figura 26.** Cambio de estado de una red de Petri



Fuente: (David & Alla, 2010)

## **CAPITULO 3: PROYECCIÓN Y MODELADO DEL SUBSISTEMA DE GESTIÓN BASADO EN SISTEMAS MULTI-AGENTES**

Este capítulo inicia con la descripción del funcionamiento del sistema, considerando sus características y aplicaciones. Una vez definida las consideraciones iniciales, se desarrollará el diseño del prototipo de la red enfocado en el área de gestión de un sistema domótico. Finalmente se presentarán pruebas de la red diseñada con el propósito de analizar su comportamiento y verificar la apropiada elección de la arquitectura propuesta.

### **3.1 Consideraciones de Diseño Iniciales**

El estudio de la fase de gestión de un sistema domótico basado en multi-agentes tiene como finalidad describir el diseño de la red propuesta, analizar sus funciones y características principales, proporcionando un detallado panorama del comportamiento de la arquitectura del sistema.

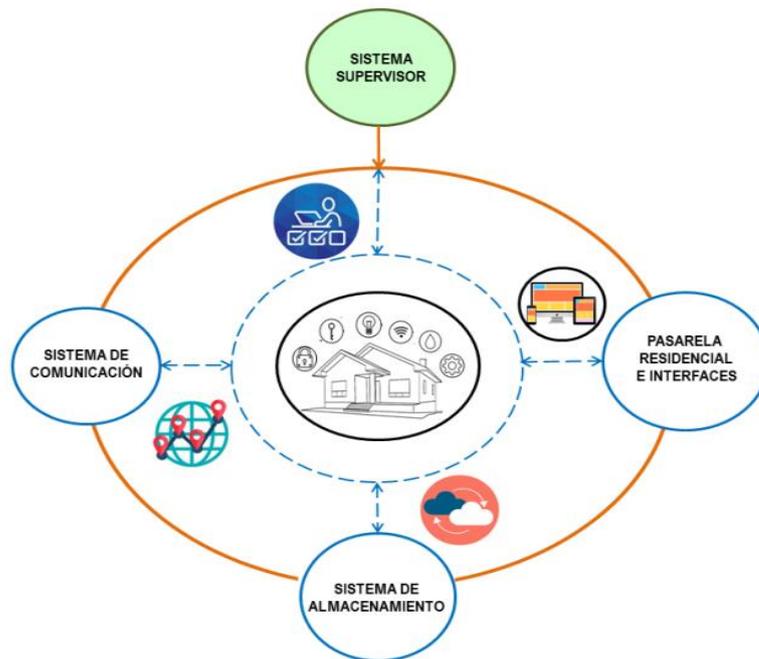
#### **3.1.1 Descripción del Sistema**

En términos generales, se presenta el caso de estudio enfocado en el área de gestión de un sistema domótico que relaciona sus fases entre sí a través de sistemas multi-agentes, permitiendo la interconexión de unas con otras. Los agentes de control son los encargados de los diferentes dispositivos constituidos por sensores y actuadores, es decir, son los que ejecutan las diversas acciones domóticas. A diferencia de los agentes de control, los agentes de gestión, tienen como finalidad direccionar la red, enfocándose en supervisar el sistema, gestionar la información generada, coordinar los actos de habla y cooperación entre agentes, y de proveer interfaces humano máquina para una adecuada comunicación entre los diferentes actores del sistema.

El sistema está formado a su vez por cuatro subsistemas: sistema supervisor, pasarela residencial e interfaces, sistema de comunicación y sistema de almacenamiento, la comunicación de estas fases se adapta a los diferentes ambientes existentes en las viviendas inteligentes. Para la implementación de la red se utilizan componentes de bajo costo y asequibles en el mercado, siendo una buena alternativa para los consumidores.

El sistema de gestión básicamente permitirá que el usuario disponga de control remoto y acceso a la información de toda la distribución, mediante un servidor alojado en la nube. Para el modelado domótico se utiliza una arquitectura jerárquica, combinada con una topología de red tipo árbol. En la Figura 27 se muestra como los subsistemas se relacionan entre sí, el propósito es que cada uno de ellos trabajen de manera colectiva, al no existir un orden en el cumplimiento de tareas, cada uno puede ejecutar sus funciones de forma independiente; aunque puede darse el caso en el que alguno de ellos solicite ayuda, lo cual es permitido, solo sí no interfiere en las tareas del otro.

**Figura 27.** Esquema general del sistema de gestión domótico propuesto



Fuente: El Autor

A continuación, se describirá brevemente cada uno de los subsistemas para lograr un alcance general del tema:

**Sistema de almacenamiento.** Guarda y recupera los datos de todo el sistema para almacenar información valiosa que puede ser útil para estudiar el entorno en el que se desenvolverán los agentes.

**Sistema de comunicación.** Es el encargado de transferir datos e información a través de la red al momento de presentarse un evento ajeno o extraño a lo habitual.

**Pasarela residencial e interfaces.** Transforma los mensajes recibidos por las diferentes interfaces: remota, fija y local, adquiridos de la información entregada por los diferentes entornos

**Sistema de supervisión.** Controla y comprueba el correcto funcionamiento de la red, generando alertas en caso de que ocurra alguna falla.

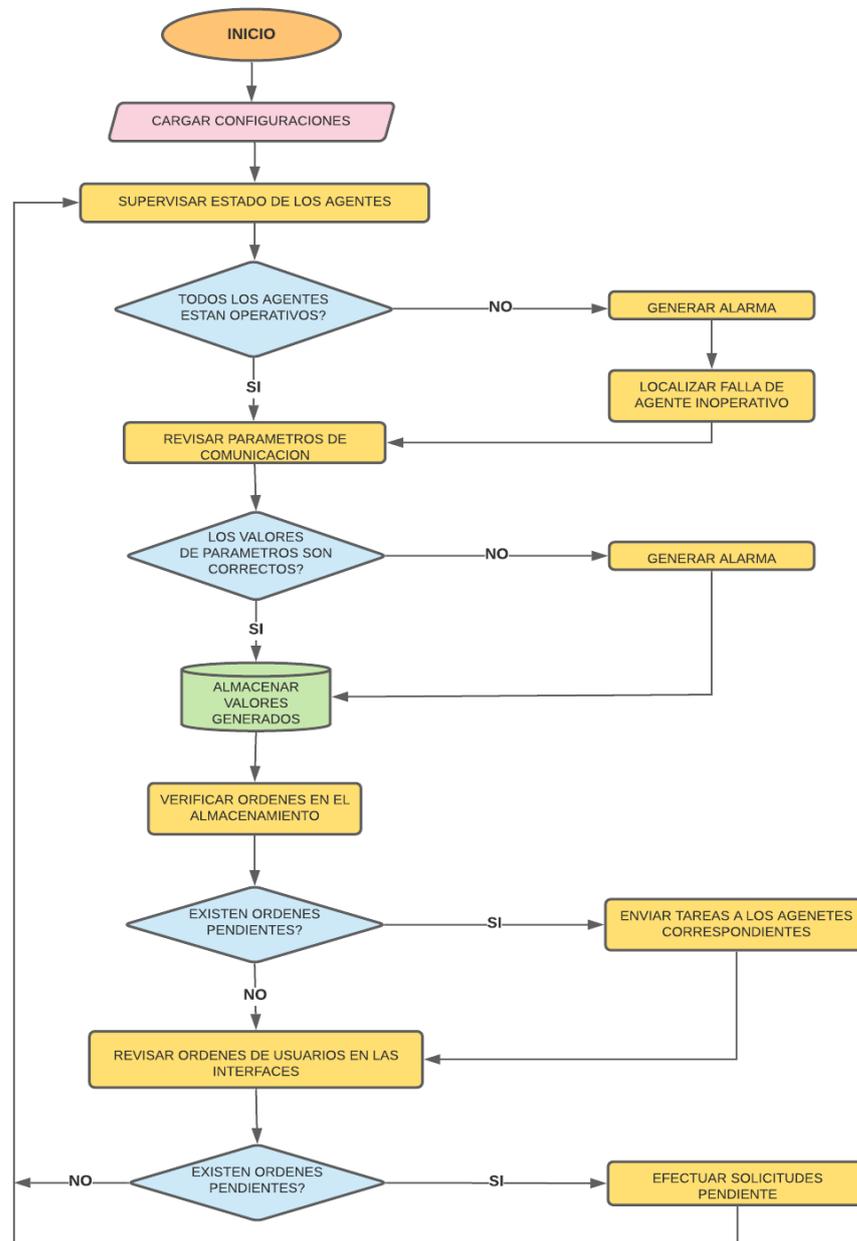
Dentro del análisis realizado, se determinó que la arquitectura que controla la red es distribuida, donde todos los controladores y demás dispositivos tiene un procesador que les permite disponer de su propia información, compartirla y ejecutar tareas personalizadas a cada uno. Luego de que el sistema apruebe las cuatro fases mencionadas anteriormente, se ejecutan las acciones necesarias mediante el trabajo de los sensores y actuadores que reciben órdenes y responden según sea el caso.

A continuación, se muestra el diseño del sistema y su funcionamiento general. Como se puede observar en la Figura 28, el proceso inicia cargando las configuraciones generales que permitirán revisar si los agentes están disponibles u operando, si uno de los agentes no está trabajando con normalidad o presenta alguna anomalía en su funcionamiento, se genera automáticamente una alarma para verificar los parámetros que inhabilitaron el agente en cuestión, para luego proceder a revisar la comunicación del sistema (independientemente de que alguno de los agentes no esté operando, se debe revisar todos los parámetros del sistema antes de volver a empezar el ciclo nuevamente), se plantea la pregunta para verificar si los valores encontrados en los parámetros de comunicación son correctos, si la respuesta es “no” se genera la alarma y se procede al siguiente paso, pero si la respuesta es “sí”, se continua directamente a guardar los valores previamente generados en el almacenamiento del sistema.

Luego se revisa si existen órdenes pendientes en la nube para ser ejecutadas; se genera la pregunta para comprobar si hay alguna orden en espera, de ser así, se envían las tareas correspondientes al agente encargado según sea el caso y si no, se analizan si existen requerimientos efectuados por los usuarios en las interfaces, si la respuesta es afirmativa, se ejecutan las

órdenes solicitada, de lo contrario, se regresa a la supervisión del estado de los agentes para volver a empezar el ciclo.

**Figura 28.** Diagrama de flujo general del sistema



Fuente: El Autor

### 3.1.2 Caracterización del Sistema

En el subtema anterior se detalló el desarrollo y la descripción del sistema para una visualización general del mismo. En esta sección se presenta una explicación detallada acerca de las características específicas del sistema y los elementos que servirán para ejecutar las tareas propuestas y para

posteriormente generar el diseño de la implementación:

- El sistema dispone de cuatro subsistemas comunicadas entre sí, las cuales trabajan en conjunto con la ayuda de multi-agentes para atender las necesidades de un individuo y crear las diferentes funciones domóticas.
- La comunicación inalámbrica utilizada en el sistema viene dada por el protocolo de comunicación ESP-NOW, el cual permite a los diferentes dispositivos comunicarse entre sí sin utilizar una red Wi-Fi. El protocolo es similar a la conectividad inalámbrica de 2,4 GHz de baja potencia. El emparejamiento entre dispositivos es necesario antes de su comunicación. Una vez realizado el emparejamiento, la conexión es segura y de igual a igual. Después de emparejar un dispositivo entre sí, la conexión es persistente, es decir, si de repente una de sus placas pierde energía o se reinicia, cuando se reinicia, se conectará automáticamente a su par para continuar la comunicación. ESP-NOW admite las siguientes funciones: Comunicación unidifusión cifrada y no cifrada, dispositivos homólogos encriptados y no encriptados, puede transportar una carga útil de hasta 250 bytes y tiene una función de envío de devolución de llamada que se puede configurar para informar a la capa de aplicación del éxito o el fracaso de la transmisión.  
La tecnología ESP-NOW también tiene algunas limitaciones, como lo son: pares cifrados limitados, el modo de estación admite sólo 10 pares cifrados como máximo; 6 como máximo en modo SoftAP o SoftAP + Station, también se admiten varios pares no cifrados, sin embargo, su número total debe ser inferior a 20, incluidos los pares cifrados.
- Pantalla monocromática Oled SDD 1306, de 128x64 pixeles.
- Microcontrolador ESP8266, con cobertura máxima de 10m, sin línea de vista.
- La comunicación entre sub-sistemas se efectúa por medio de una conexión WiFi.
- La velocidad del procesador es de 80 a 160 MHz.
- El voltaje de alimentación con el que trabajará el sistema es de 2.5V a 3.6V, aunque se podría emplear una fuente de 5V sin ningún

inconveniente, el circuito mantendrá el mismo desempeño.

- Consumo de energía del agente de gestión en modo activo es aproximadamente 9 mA, y en modo inactivo es inferior a 1 mA.
- Lector de memoria micro SD AA115, con interfaz SPI, para tarjetas de memoria micro SD.

### **3.1.3 Definición de Requisitos Funcionales**

Un sistema domótico se compone de varios elementos, etapas y subsistemas importantes que controlan cada una de las fases y llevan un orden de tareas específicas que se llevan a cabo en determinados periodos de tiempo. Como ya se ha analizado con anterioridad cada uno de ellos tienen sus requerimientos y funciones asignadas según sea su ocupación en el entorno inteligente. Para que una vivienda domótica tenga la capacidad de cubrir con todos los requerimientos del usuario, se debe tener en cuenta que todo proceso debe estar conformado por un sistema de gestión, diseñado para cumplir con múltiples obligaciones dirigiendo de forma estructurada y coordinada la administración del sistema. El gestionamiento y sincronización de las actividades tiene como finalidad alcanzar objetivos y establecer estrategias de organización y coordinación de esfuerzos que serán empleados más adelante en conjunto con otros agentes del sistema.

A continuación, se detallan las funciones principales del sistema de gestión:

- Supervisar que todos los agentes estén actuando en conjunto y que, si se presenta dificultades a lo largo del proceso, exista otro que pueda ayudarlo sin afectar sus propias responsabilidades.
- Monitoreo de todo el sistema a través de una comunicación inalámbrica entre todos los dispositivos de la red.
- Gestionar un sistema de almacenamiento de la información de todo sistema, para la generación de históricos y principalmente para compartirla con los subsistemas que lo requieran.
- Gestionar las acciones necesarias para que las comunicaciones entre agentes, asegurándose que resulte compatible con el resto de los elementos del circuito, revisando la velocidad y el número de errores

que puedan presentarse e interferir en la transmisión de la información.

- Gestionar los requerimientos de los agentes de control y las órdenes de los usuarios solicitadas mediante las interfaces. No sólo gestionará los problemas intrínsecos, también generará disposiciones para resolver conflictos externos.
- Gestionar los protocolos para la solución de conflictos y para el trabajo colaborativo en asociación con los otros subsistemas para que la resolución de problemas complejos.
- Generar alarmas en caso de detección de anomalías en el sistema para que sean resultas de inmediato y no causen fallos en los procesos consecutivos.

### **3.2 Diseño del Sistema Domótico de Gestión**

Se propone un diseño de red domótico que pueda ser implementado en una vivienda, basada en de las nuevas tecnologías que han surgido recientemente con el fin de generar soluciones integrales para los usuarios, por tal motivo, se distribuirán los diferentes elementos que forman el sistema, basándose en la topología red y la distribución jerárquica.

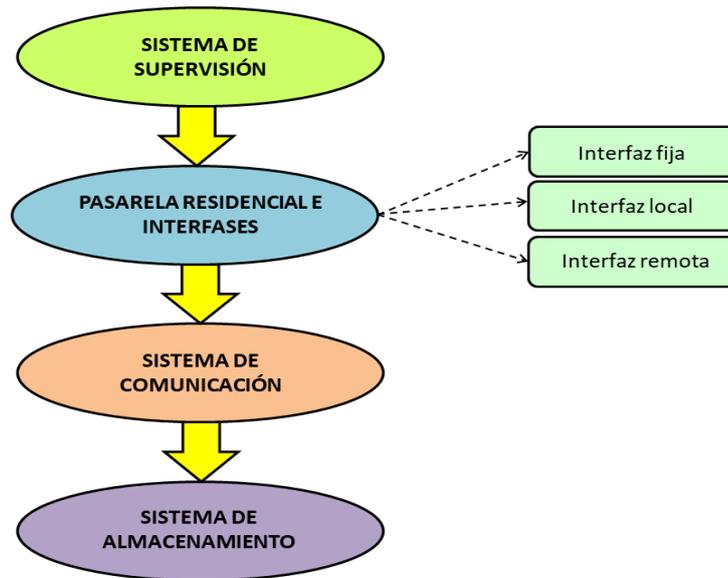
El orden del sistema de gestión no está especificado, por lo tanto, no existen pasos exactos que se puedan seguir para la ejecución de tareas, si bien es cierto, se puede plantear una distribución jerárquica, en la cual, dependiendo de las tareas o labores que realice cada agente, tendrá un grado diferente, ya sea mayor, menor o igual de mandato, pero todos son autónomos y pueden enfrentarse a situaciones por sí mismos, aunque también habrá la posibilidad de presentar dudas o inquietudes para que puedan ser resueltas en conjunto.

#### **3.2.1 Arquitectura de Gestión Domótica**

Una vez que el sistema ha sido proyectado en la sección anterior, queda la tarea de diseñar el sistema de gestión domótica, partiendo de los elementos generados en la proyección. El sistema debe de cumplir con las funciones planteadas y con los procesos definidos en la descripción del sistema. Complementando con la Figura 28 de la descripción del sistema, la Figura 29 muestra de una forma organizada un diagrama de bloques con los

elementos que conforman el subsistema de gestión, de un sistema domótico.

**Figura 29.** Diagrama de bloques del sub-sistema de gestión



Fuente: El Autor

**Sistema de Supervisión.** Fue designado como el sistema principal por las respuestas inmediatas que debe entregar a todo el sistema, es decir su importancia radica en la vigilancia como primera instancia, si se necesita alguna sentencia de ocurrencia, el agente supervisor estará por delante de sistema, procurando mantener el proceso domótico bajo control.

**Pasarela Residencial e Interfaces.** Los usuarios son parte fundamental del proceso domótico, por eso sus peticiones deben ser escuchadas y atendidas en el preciso momento en las que son solicitadas. Este sistema consta de tres elementos fundamentales para desempeñar sus funciones: interfaz remota, el usuario puede controlar los comandos a ejecutarse mediante cualquier dispositivo tecnológico y desde el lugar donde se encuentre a través de internet; interfaz local, se encuentra dentro de la misma casa y se conecta a la red de forma inalámbrica a través de dispositivos inteligentes como teléfonos celulares o tabletas. Permitirá al usuario interactuar con el sistema modificando parámetros en caso de que este lo requiera, a través de mandos muy simples, como pueden ser botones o interruptores;

interfaz fija, se refiere una interfaz humano-máquina que enviará las órdenes al sistema, el cual dispondrá de una programación lógica en base a los requerimientos de los usuarios.

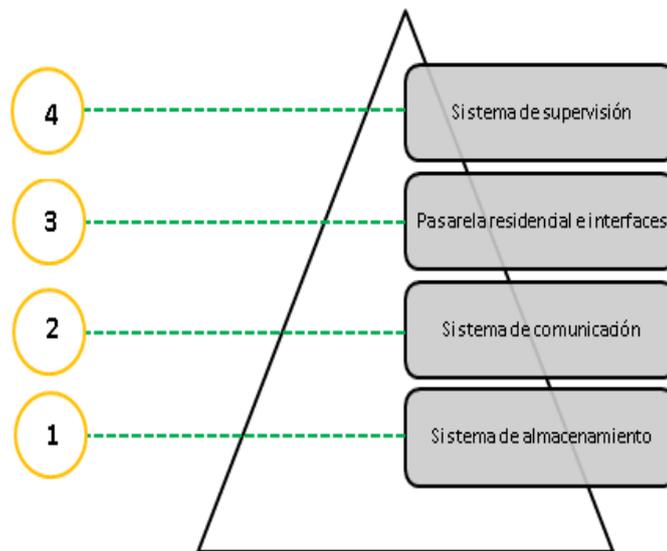
**Sistema de Comunicación.** Debe recopilar los datos adquiridos para luego registrar la información, los mensajes son transmitidos para el intercambio de datos, cuando ya se haya realizado la acción.

**Sistema de Almacenamiento.** Sus resoluciones tendrán que esperar hasta que los otros tres agentes terminen con sus tareas, esto es porque existen parámetros que deben ser analizados y concluidos antes de ser almacenados en una base de datos. Este sistema almacena la información de todos los agentes (de gestión y de control) y permite a través de diferentes canales de comunicación, compartir la información con el que la requiere o la solicita.

### 3.2.2 Arquitectura de Control del Sistema Gestión Domótica

Para el diseño del sistema de gestión domótico, se plantea una arquitectura distribuida jerárquica, que permite una mayor flexibilidad, escalabilidad y robustez del sistema (Wooldridge, 2009). Este apartado mostrará más a detalle la asignación de los rangos de orden al momento de realizar tareas, entregándole un orden de jerarquía en función del desempeño que cumplen dentro del sistema, para lo cual se ha planteado el siguiente escenario: supongamos que existen varias actividades por cumplirse, en el que cada agente tiene sus propias responsabilidades, pero se debe tener en cuenta que se deben atender ciertos requerimientos antes que otros, por ejemplo, no se pueden encender los aires acondicionados sin antes detectar la presencia del usuario o antes de que el usuario no de la orden de que se ejecute la acción, y aunque esta situación le corresponda al sistema de control, es un buen ejemplo para entender que se necesitan establecer grados de importancia o prioridad entre una tarea y otra, por lo tanto el modelo propuesto en la Figura 30 muestra un diagrama basado en la importancia de tareas de cada subsistema, para el cual se han designado los siguientes niveles jerárquicos:

**Figura 30. Jerarquía del sub-sistema de gestión**



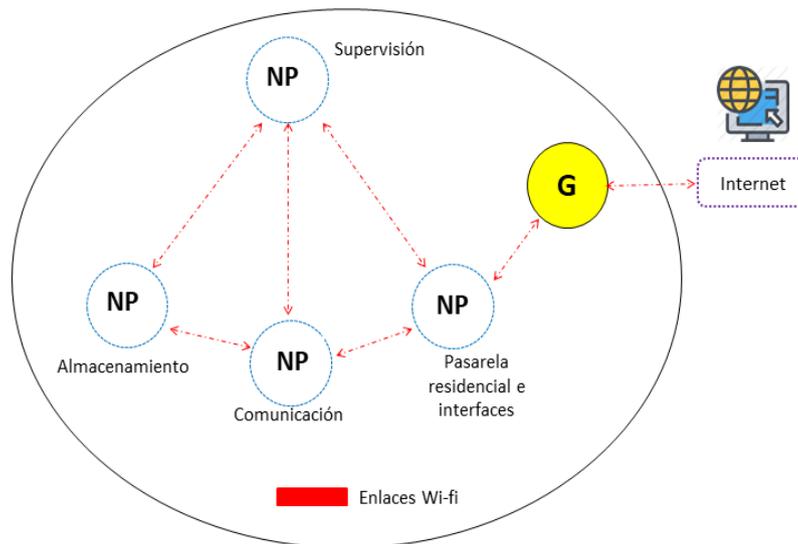
Fuente: Autor

### **3.2.3 Arquitectura de Red Inalámbrica del Sistema de Gestión Domótico**

La red de sensores inalámbrica de este sistema se forma por elementos autónomos que se distribuyen a lo largo del área de trabajo, cada uno de estos elementos trabajan en equipo para lograr la recolección de datos y enviarlos a un nodo central, eligiendo la mejor ruta de transferencia para que la información adquirida llegue exitosamente a su destino. Esta red propone una estructura jerárquica, la cual permite la interacción entre dispositivos inteligentes y además establece dos tipos diferentes de nodos: nodo padre (NP), encargado de la supervisión y de comunicación de otros nodos de menor rango o inferiores existentes en el sistema llamados nodos hijos (NH), los cuales se encargan de mandar a los actuadores y sensores (Mendoza et al., 2020). Como se estableció en la Figura 30, existen cuatro niveles jerárquicos, cada uno asignado de tal forma que puedan trabajar en conjunto pero con diferentes grados de prioridad, asimismo se dispone una asignación de topología en la red, la cual es la topología de árbol, elegida por ser una de las más estables que tienen las WSN. La arquitectura de la red inalámbrica en el sistema de gestión utiliza una subred denominada NP-NP, conformada por varios nodos padre que a su vez albergarán estructuras internas que pueden estar compuestas de NH para colaborar con el sistema de control, manejando sensores y actuadores.

El sistema de gestión constará sólo de aquellos nodos que forman parte de la administración de la red, dicho en otras palabras, cada uno de los sub-sistemas se denominan nodos padres, como se muestra en la Figura 31, se han designado diferentes tipos de nodos para cada uno de los sub-sistemas y sus elementos, como se ha mencionado anteriormente, se ha asignado un nodo padre a cada sub-sistema, sin dejar de lado la jerarquía que los gobierna para conseguir una comunicación coordinada, por otro lado cada nodo padre podrá enviar la información recibida a un Gateway para que la información sea manejada en una estación base fuera del área local de la red.

**Figura 31.** Red de sensores inalámbrica del sistema de gestión



Fuente: El Autor

### 3.2.3.1 Análisis de los Nodos de la Red

Cada nodo padre se comunica con los otros de la misma categoría mediante enlaces Wi-Fi. La red consta de cuatro NP, los cuales se han expuesto en la Figura 31. Se han nombrado NP por su función dentro del sistema, cada uno tiene su ocupación y la posibilidad de interactuar entre sí, a diferencia de los nodos hijos que, aunque este sistema no requiere de ellos, no está demás recalcar que éstos son los que respetan las señales de los NP, no pueden comunicarse entre sí para ejecutar una acción, pero pueden enviar información por separado al sistema para que los NP puedan analizarla y realizar la toma de decisiones.

El subsistema de supervisión, representado por un nodo padre, se encuentra en la parte superior de la red jerárquica, el cual se encarga de la coordinación de la comunicación de la red y recepción de todos los datos adquiridos por las interfaces y los demás NP, con apoyo del subsistema de comunicaciones. Aunque los nodos padres corresponden a una arquitectura jerárquica, el subsistema de supervisor se le da mayor prioridad en algunas tareas, dado que actúa como un vigilante continuo del sistema. Por otro lado, existen también tres nodos padres capaces de dar direcciones, ejecutar acciones o llevar a cabo tareas sin limitaciones. Cada NP podrá dictar órdenes al sistema, gracias a que todos los dispositivos de gestión tienen un nivel de inteligencia y capacidad de mando, muy similar.

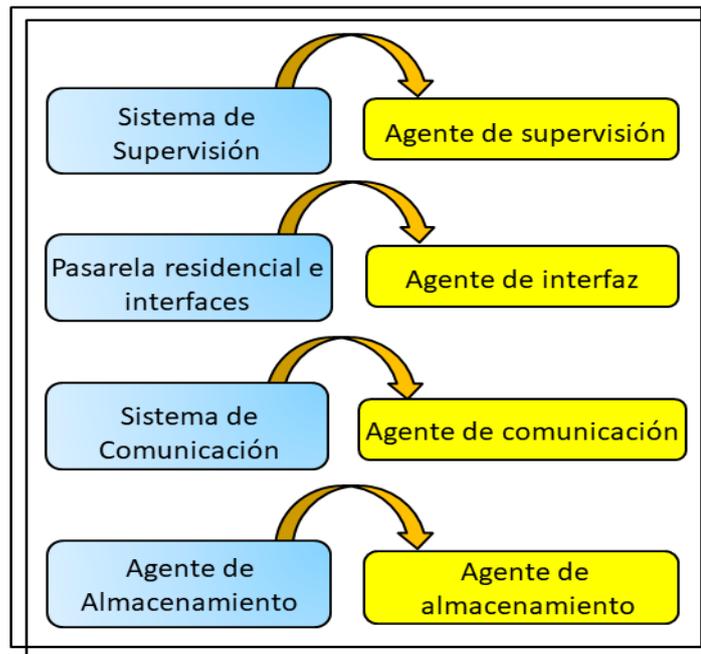
### **3.2.4 Arquitectura Multi-agente del Sistema de Gestión Domótico**

Cada uno de los sistemas que integran el sistema de gestión ha sido tratado anteriormente como sub-sistemas, definidos de tal manera que fueran proyectados de forma superficial para un bosquejo principal sencillo del sistema. Como se ha mencionado en este capítulo en varias ocasiones, cada sub-sistema dispone de inteligencia propia y es autónomo, no recibe órdenes de ningún otro elemento porque es capaz de tomar decisiones y realizar operaciones por sí mismo, por lo tanto cumple con la definición total de lo que se denomina "agente inteligente", para tener una idea más clara para que un agente sea considerado inteligente debe incluir características como: cooperación, autonomía y también debe ser colaborativo, además deben poseer una arquitectura deliberativa BDI (Aguilar et al., 2013a).

Los elementos del sistema de gestión anteriormente denominados "sub-sistemas" cumplen con cada una de estas características, por lo tanto, cada uno de ellos se denominarán a partir de ahora "agentes inteligentes" capaces de defender sus propios ideales, trabajar en equipo y resolver problemas, además serán los encargados de manejar y permitir que el sistema funcione correctamente.

A continuación, en la Figura 32 se presenta la conversión formal del modelo clásico de sistema domótico a su equivalente con agentes inteligentes.

**Figura 32.** *Conversión de los subsistemas*



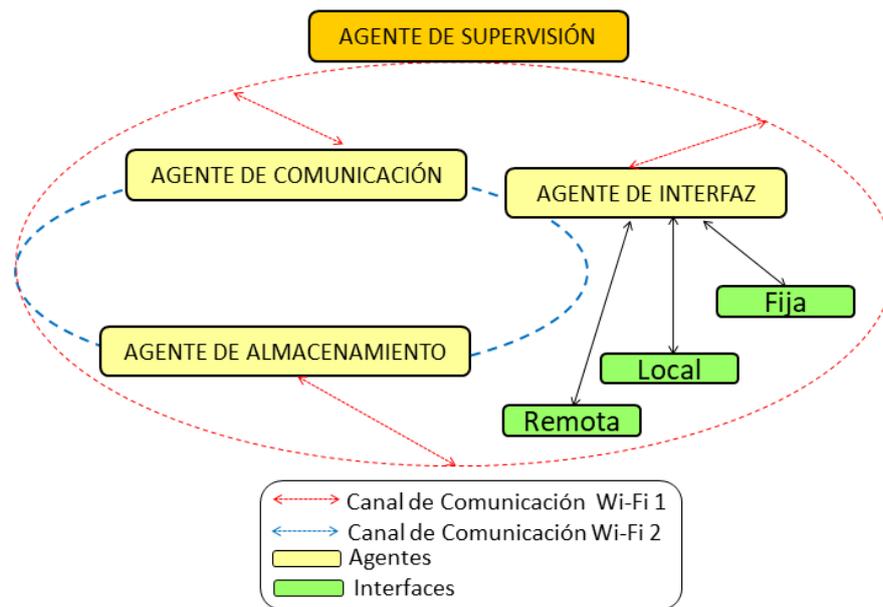
Fuente: El Autor

### 3.2.5 Arquitectura del Agente de Gestión

Así como se propuso una estructura para los sub-sistemas, se va a desarrollar una arquitectura para cada uno de los agentes inteligentes dentro del sistema de gestión, teniendo en cuenta el grado de jerarquía que tiene dentro del sistema multi-agente. Cada agente estará encargado de manejar sus propias tareas y generar respuestas inmediatas a los dilemas que se puedan presentar en algún escenario.

La Figura 33 presenta la arquitectura para el sistema multi-agente de gestión, como se puede observar cada uno de los agentes (representados en recuadros amarillos) se comunican entre ellos mediante una red Wi-Fi, todos los agentes se conectan a la red, incluyendo el agente de supervisión, aunque se muestra fuera del círculo, el cual representan los enlaces Wi-Fi, sólo es para hacer hincapié en que éste se comporta como el control encargado de la administración superior de toda la red, así como se lo detalló en la descripción de la Figura 31, por último los recuadros marcados en verde representan cada una de las interfaces que van a captar la información u órdenes para enviarlas al sistema domótico.

**Figura 33.** *Arquitectura de los agentes del sistema de gestión*



Fuente: El Autor

### 3.2.5.1 Arquitectura Software

La arquitectura de software se basa en la arquitectura deliberativa (BDI), en este tipo de arquitectura los agentes toman decisiones a través de una serie de razonamientos lógicos. Una de las principales características de este tipo de razonamiento es la resolución de conflictos, ya que los objetivos y actitudes disponibles para los agentes pueden que no siempre sea compatible. Además, la información que el agente proporcione puede no ser siempre consistente, o puede ser cierto en un momento, pero incorrecto en el siguiente o también puede presentarse el caso que sea diferente para otro agente.

La argumentación es un enfoque prometedor para abordar tales consideraciones: es un proceso tanto mono-agente como multi-agente, en el cual un agente puede decidir por sí solo o adherirse a la opinión de otro agente, dependiendo de la fuerza y validez de los argumentos. Además, los agentes se reservan el derecho de revisar sus opiniones antes que estas salgan a la luz (Elkind Velmovitsky et al., 2017). En la Figura 34 se presenta un esquema representativo de la arquitectura doméstica deliberativa. A continuación, se describirán como los agentes toman esta arquitectura sustentada en deseos, creencias e intenciones:

- Las creencias son la información que van a recibir los agentes sobre el medio ambiente. Esta información, sin embargo, es algo en lo que cree el agente, pero puede que no sea necesariamente cierta. Por ejemplo, en el caso del sistema de gestión puede darse el caso de que uno de los agentes esté "operativo" (funcionando normalmente dentro de la red) pero éste puede cambiar de estado a "inoperativo" antes del siguiente ciclo de razonamiento; en este caso, su creencia está desactualizada e incorrecta.
- Los deseos son los posibles estados de cosas que al agente le gustaría lograr. Sin embargo, eso no significa que el agente actuará en consecuencia; es un factor de influencia potencial en las acciones del agente.
- Las intenciones son el estado de cosas sobre el que el agente ha decidido actuar. En otras palabras, las intenciones pueden considerarse como una opción seleccionada entre el conjunto potencial de opciones o deseos que el agente ha decidido seguir.

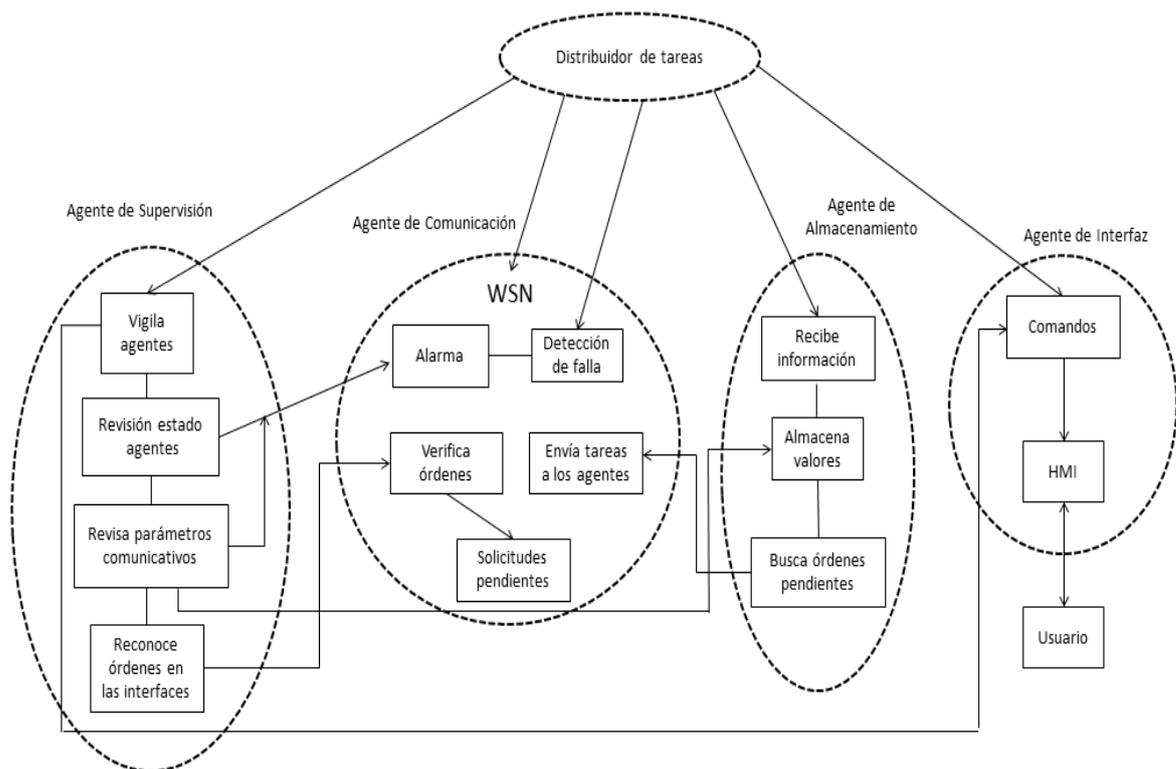
**Figura 34.** *Arquitectura domótica deliberativa*



Fuente: El Autor

Como ya se han analizado los distintos panoramas de las características de la estructura deliberativa para el sistema multi-agente de gestión, en la Figura 35 se muestra el esquema estructural de la arquitectura del sistema, mostrando cada una de las tareas asignadas a cada agente inteligente, se ha realizado el análisis de cada una de las tareas para determinar que agente va a estar a cargo de las diferentes acciones propuestas en la Figura 28, donde se organizaron mediante un diagrama de flujo, en esta ocasión cada una de las tareas ya han sido repartidas para cada uno de los agentes, esto quiere decir que ellos estarán a cargo principalmente de esas tareas específicamente, no obstante, cada uno de ellos puede además realizar otro tipo de operaciones de ser necesario, por ejemplo en el caso de que otro agente pida ayuda o necesite opiniones para alcanzar algún objetivo o tomar una decisión, éste podrá colaborar sin ningún problema, sin olvidar que primero deben resolver sus propios inconvenientes antes de prestar su atención en otra labor.

**Figura 35.** *Arquitectura de software del sistema de gestión*

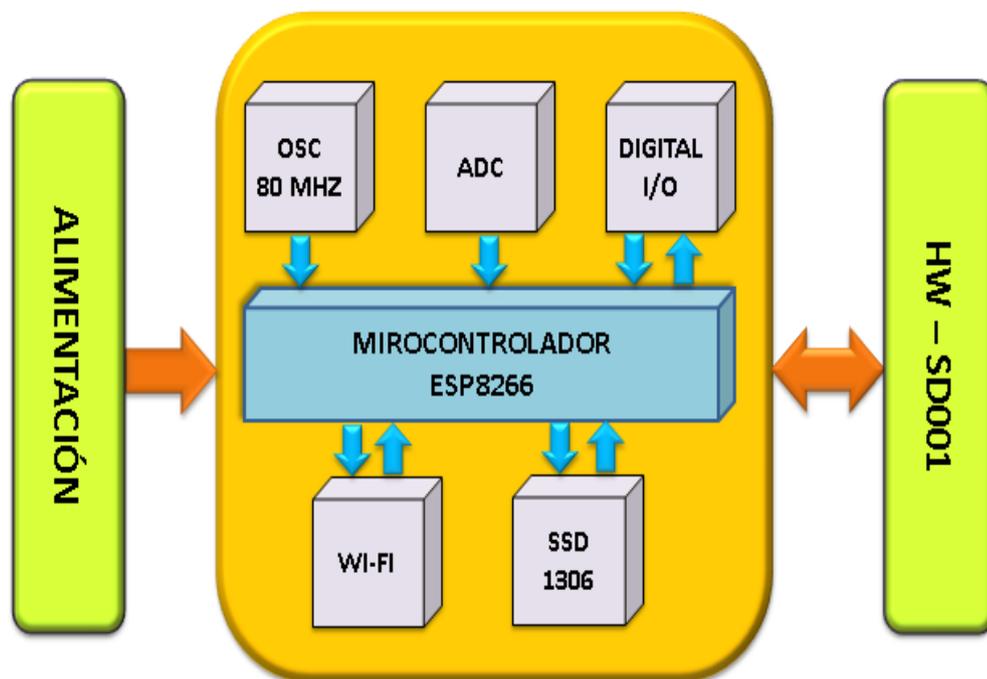


Fuente: El Autor

### 3.2.5.2 Arquitectura Hardware

En este acápite se realiza una proyección física de cada uno de los nodos padre que serán los encargados de manejar el sistema de gestión, la arquitectura externa permite mostrar cómo la manera en que irán conectados cada uno de los elementos que integran el circuito. Cada uno de los agentes tendrá asignado un microcontrolador ESP8266 de 32 bits que trabaja a una frecuencia de 80Mhz y con un voltaje de alimentación de 3.3V, además ofrece una conectividad Wi-Fi que hace sencilla la comunicación entre ellos. Su bajo costo, es una de las razones por las que este microcontrolador forma parte de esta red, por lo tanto, el costo de su mantenimiento también será relativamente económico. La Figura 36 muestra la conexión de los elementos del sistema con los diferentes NP, el circuito cuenta con una fuente de alimentación que hará funcionar a los microcontroladores, además cuenta con I/O digitales, una pantalla OLED SSD1306 que mostrará los datos que están circulando en el sistema, un lector de memoria micro SD para el almacenamiento de la información y un conversor analógico digital.

**Figura 36.** *Arquitectura hardware de los agentes de gestión*



Fuente: El Autor

### **3.3 Modelado del Sistema**

Los diagramas UML proporcionan a los diseñadores de sistemas de redes una detallada visión y comprensión de la distribución de la red por medio de la esquematización modelada y especificaciones técnicas que ayudan a integrar cada una de las funcionalidades del sistema de forma prolija. Es muy importante recalcar que estos modelados pueden mostrar al usuario como parte del sistema; precisamente la manera en que ellos interactúan en el entorno, estos usuarios puede ser técnicos o supervisores de la estructura sistemática. Para el modelado UML de este sistema se han considerado tres diagramas: diagrama de casos de uso, diagramas de secuencia y diagramas de estado; de la misma forma, se diseñaron dos diagramas de caso de uso para tener un panorama detallado del desenvolvimiento de cada actor en el ambiente inteligente, los cuales se especifican a continuación:

- Diagrama de casos de uso del Sistema externo
- Diagrama de casos de uso del Sistema general de gestión

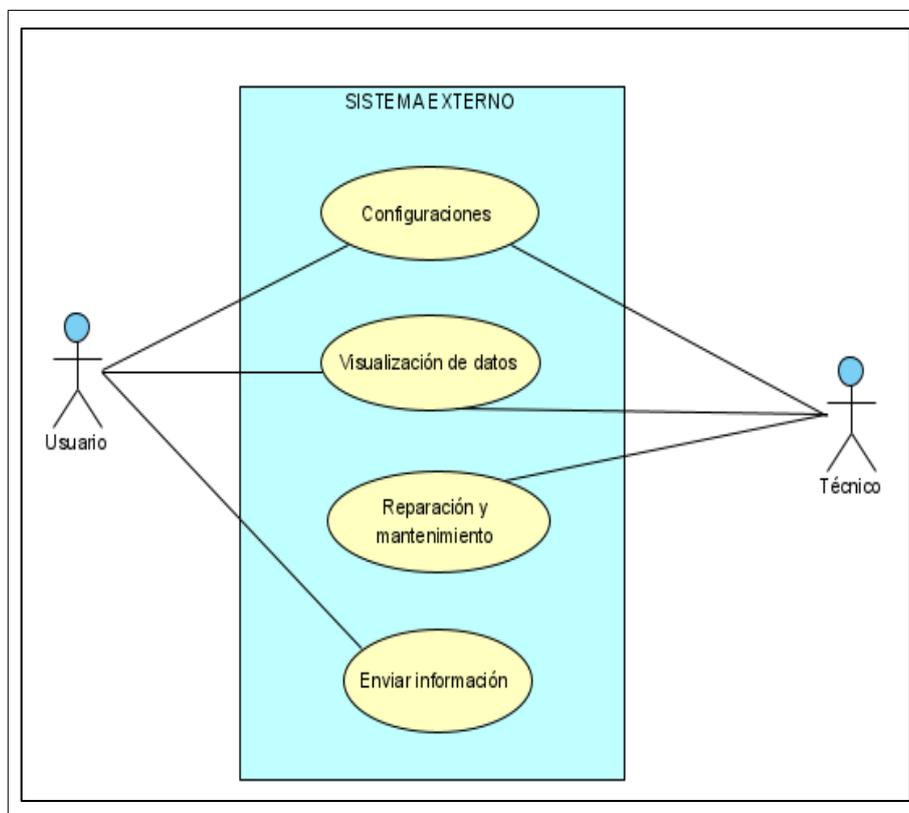
Luego de realizado el modelado en UML, se elaboran las redes de Petri del sistema de gestión domótico, lo que permite determinar las propiedades dinámicas del sistema que aseguran la funcionabilidad y robustez de la red, garantizando que el sistema no tendrá fallos en cuanto a estabilidad, lazos infinitos o colisiones en la comunicación.

#### **3.3.1 Diagramas de Caso de Uso**

Para los diagramas de caso de uso han sido definidos los actores que formarán parte del sistema, entre ellos: supervisión, comunicación, interfaz, almacenamiento, usuario y técnico. Como se puede observar en la Figura 37 el usuario y técnico forman parte del sistema externo, si bien es cierto, el sistema de gestión solo controla la información y ejecuta parámetros internos que puedan generar problemas en el exterior, más no se encarga de controlar ni supervisar agentes existentes en el entorno superficial, la relación entre uno con otros radica en que el sistema de gestión no solo administra los requerimientos generados por estos agentes extrínsecos sino que también dispone de recursos para resolver conflictos que puedan existir en el exterior, basándose en los requerimientos que son enviados por parte de estos elementos al sistema de gestión para ejecutar las tareas; pero se debe aclarar

que no dependen directamente del mismo, por lo que un sistema ajeno se encargará de crear lazos directos entre estos elementos, como los podría generar el sistema de control. Sin que elementos externos no dicten comandos no se podrían gestionar algunas de las sentencias, por este motivo se ha designado un caso de uso que permita conocer las acciones que realizan estos elementos con relación al sistema de gestión. Las configuraciones, visualización de datos y reparación y mantenimiento están relacionadas con el técnico, el cual podrá examinar la información existente dentro del sistema en caso de existir alguna falla que necesite atención personalizada; el envío de información ha sido relacionada al usuario, al igual que las configuraciones y la visualización de datos; la función del usuario es ofrecer una relación hombre-máquina, percibida en el instante que el usuario hace sus peticiones a través de las interfaces.

**Figura 37.** Sistema externo relacionado al sistema de gestión

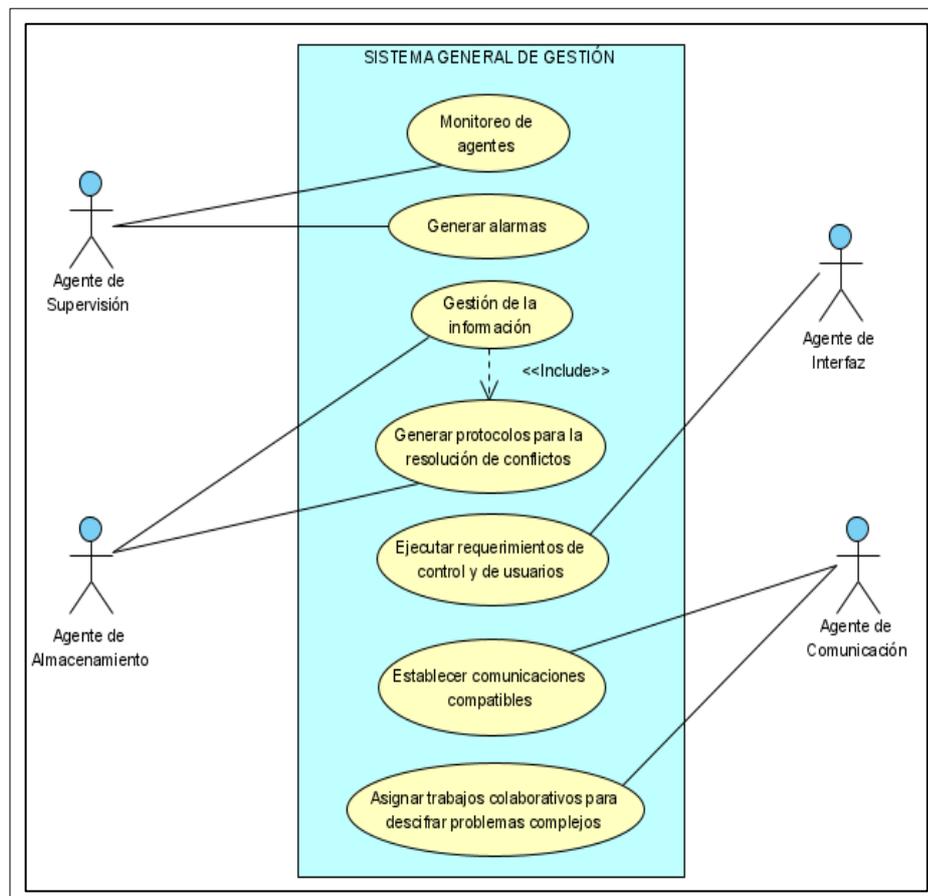


Fuente: El Autor

Por otro lado en Figura 38 se puede observar que han sido asignadas diferentes relaciones para cada actor, el monitoreo que deben tener todos los agentes que corrobore que todos estén trabajando en conjunto ha sido

relacionado con el agente de supervisión, además le ha sido vinculada la generación de alarmas, en caso de existir algún altercado en la red, el será el responsable de enviar la señal de este modo; el agente de almacenamiento tiene dos relaciones, una que implica a la otra a través del función <<include>> se puede percibir el enlace de las dos interacciones, la gestión de la información general de todo el sistema, a partir de aquello se podrán generar protocolos que indiquen pasos a seguir para resolver conflictos que puedan presentarse durante el proceso; el agente de interfaz ha sido relacionado con la interacción debido a que mediante las interfaces se podrán conocer las órdenes que deberán ejecutarse a causa de los requerimientos que puedan tener tanto los usuarios como el sistema de control.

**Figura 38.** Sistema general de gestión



Fuente: El Autor

Por último, al agente de comunicación se le implican directamente dos relaciones esenciales, establecer comunicaciones que sean compatibles

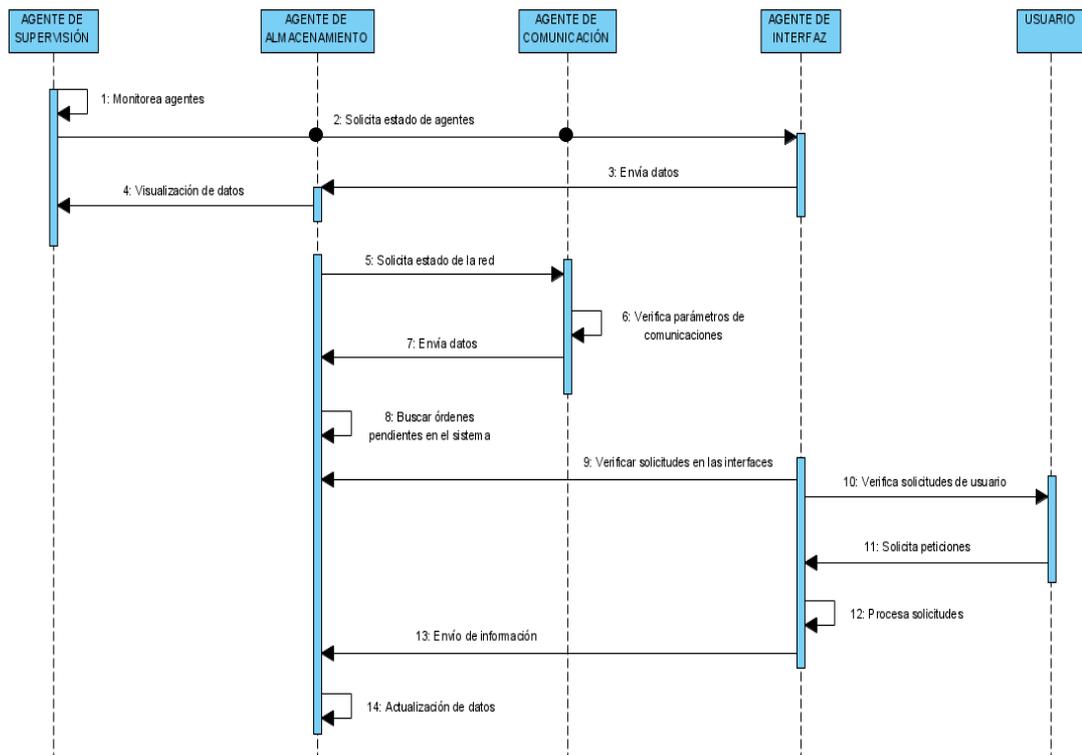
entre todos los agentes para que puedan transferir la información adquirida sin ningún inconveniente; la asignación y asociación de trabajos distribuyéndolos entre los diferentes agentes en caso de presentar problemas más complejos.

### 3.3.2 Diagramas de Secuencia

Los diagramas de secuencia UML son diagramas de interacción que detallan cómo se llevan a cabo las operaciones, capturan la interacción entre objetos en el contexto, se enfocan en el tiempo y muestran el orden de la interacción visualmente usando el eje vertical del diagrama para representar en el tiempo qué mensajes se envían y cuándo. Esto permitirá enfocar simultáneamente las acciones dentro de un diagrama y tener una proyección general del sistema.

En el diagrama de secuencia intervienen cuatro actores: agente de supervisión, agente de comunicación, agente de almacenamiento, agente de interfaz y usuario. A continuación, se define la secuencia en la que participan los actores dentro del sistema de gestión, tal como muestra la Figura 39.

**Figura 39.** Diagrama de secuencia del sistema de gestión



Fuente: El Autor

El sistema inicia a con la interacción del agente de supervisión, él mismo ejecuta y recibe el comando "monitorear agentes", se lo definió de tal forma que este agente se encargue de la supervisión general, donde pueda detectar si existe algún agente que no esté funcionando con normalidad, además de autoevaluarse a sí mismo. (1: Monitorear agentes)

- Se solicita el estado de los agentes; la información es recolectada a través de la intervención de cada uno de los ellos independientemente, los cuales envían su análisis final al agente de interfaz, es decir emiten información de su funcionamiento actual dentro del sistema. (2: Solicita estado de agentes)
- El agente de interfaz envía los datos recaudados de todos los agentes al agente de almacenamiento que de inmediato archivará la información adquirida. (3: Envía datos)
- El agente de almacenamiento se encarga de la transferencia de esta información hacia el agente de supervisión para la visualización de los datos solicitados. (4: Visualización de datos)
- El agente de almacenamiento procede a solicitar el estado de la red, comunicándose con el agente de comunicación para gestionar la tarea (5: Solicita estado de la red)
- La solicitud generada anteriormente es procesada por la agente de comunicación, el cual examina los parámetros de comunicación referentes con el estado de la red (6: Verifica parámetros de comunicaciones)
- Los valores son encontrados y enviados al agente de almacenamiento para que puedan ser almacenados en la base de datos y utilizados en futuros requerimientos. (7: Envía datos)
- Se necesitan revisar las órdenes pendientes existentes en el sistema, el agente de almacenamiento se encarga de ejecutar esta tarea, enviándose un auto mensaje que le permita obtener los datos necesarios. (8: Buscar órdenes pendientes en el sistema).
- Una vez efectuada la tarea anterior el agente de interfaz también necesita información acerca de las solicitudes existentes, pero esta vez dentro de las interfaces, el cual las solicita al agente de

almacenamiento (9: Verificar solicitudes en las interfaces)

- El agente de interfaz se encarga de verificar si hay solicitudes del usuario, este agente está en constante contacto con el usuario para detectar sus peticiones y responderlas. (10: Verifica solicitudes de usuario)
- En este momento interviene el usuario, enviándole las órdenes que necesita que sean ejecutadas al sistema por medio de las interfaces, esta información la recibe el agente de interfaz el cual tiene contacto directo con las mismas. (11: Solicita peticiones)
- El agente de interfaz es el encargado de reconocer las peticiones que han sido generadas por parte del usuario por esta razón él mismo procesa las solicitudes encontradas (12: Procesa solicitudes)
- El agente de interfaz procesa las órdenes y las envía al agente de almacenamiento para que éste tenga un respaldo de la información adquirida (13: Envío de información)
- Una vez almacenadas las órdenes recibidas, el agente de almacenamiento procede con la actualización de la información (14: Busca órdenes pendientes)

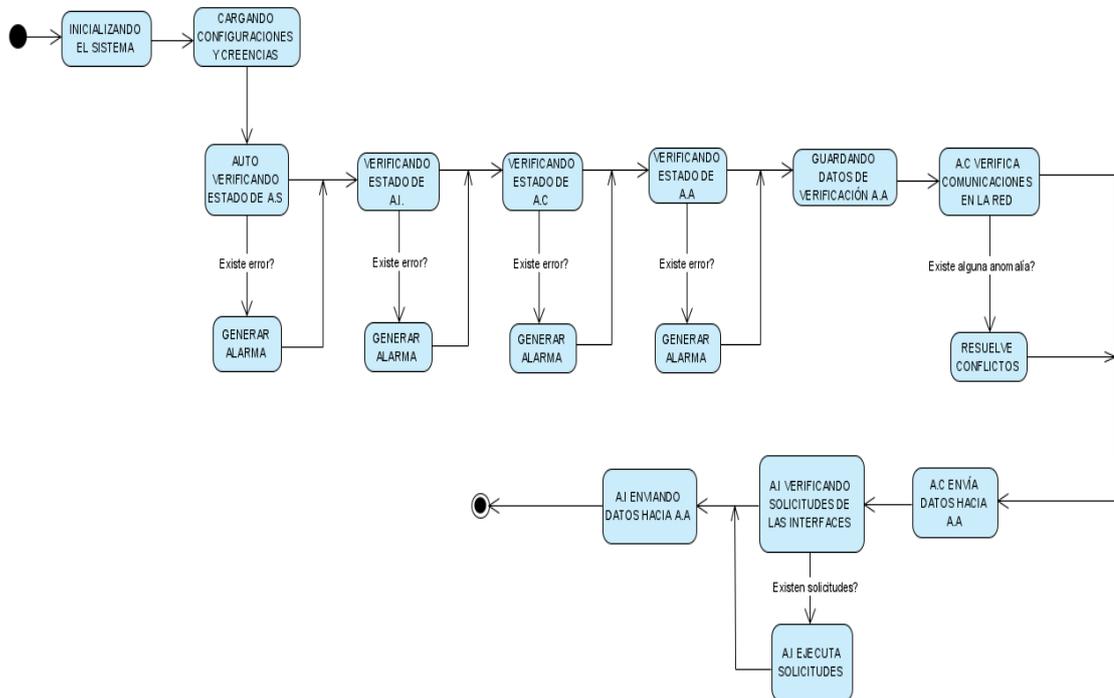
### **3.3.3 Diagramas de Estados**

El comportamiento de un sistema no es solo una consecuencia directa de sus entradas, sino que también depende de su estado anterior, los diagramas de estado UML muestran los diferentes estados de una entidad y también pueden mostrar cómo responde dicha entidad a varios eventos cambiando de un estado a otro. La Figura 40 presenta el diagrama de estado de la red domótica de gestión, el cual está diseñado de tal forma que se muestre detalladamente el proceso al que se regirá el sistema y la sucesión ordenada de los estados dentro de la red. A continuación, se describen los pasos del proceso que seguirá el sistema para llevar a cabo la comunicación entre cada uno de sus agentes:

- El sistema empieza “inicializando el sistema”, se energiza el circuito y como consecuencia se activa cada uno de los agentes para empezar el proceso.

- Se procede a cargar las configuraciones de las funciones almacenadas y creencias de los agentes, estableciendo los parámetros con los que trabajarán cada uno de ellos.

**Figura 40.** Diagrama de estado del sistema de gestión



Fuente: El Autor

- Una vez ejecutados los pasos anteriores, el sistema domótico está listo para empezar a desarrollar su funcionamiento a través de los agentes inteligentes que operarán de acuerdo a su estructura.
- El agente de supervisión percibe la finalización de las dos primeras tareas, y ejecuta el siguiente comando: la "auto-verificación", es decir, se encarga de analizarse a sí mismo, asegurándose de estar totalmente activo y preparado para trabajar en conjunto con los otros agentes.
- El proceso puede tomar dos rumbos, el primero es si existe algún error en el mismo, ya sea de comunicación, de interferencia o de saturación, de ser así, se genera una alarma que verificará que inconveniente se ha presentado para poder resolverlo sin afectar el funcionamiento de la red, luego de esto pasa al siguiente estado; por otro lado, si no existe ningún, el proceso continúa sin interrupciones.

- El proceso citado anteriormente se realiza de la misma manera con cada uno de los agentes: interfaz, comunicación y almacenamiento dirigido por el agente de supervisión, en caso de existir algún error, se envía una alarma y el proceso continúa, caso contrario se ejecuta directamente el siguiente estado.
- El agente de almacenamiento recibe todos los datos de verificación que se han elaborado a partir del estado de los agentes y los archiva en la base de datos para futuras intervenciones.
- El agente de comunicación encargado de verificar el estado en el que se encuentra la red, procede a ejecutar dicha función, analizando las comunicaciones entre cada uno de los elementos que forman el circuito.
- En caso de existir alguna anomalía en las comunicaciones, se procede con la resolución de los conflictos para luego continuar al siguiente estado, de no existir ningún conflicto, el agente de comunicación envía la información adquirida durante este estado al agente de almacenamiento.
- Una vez que el agente de almacenamiento haya guardado la información, el agente de interfaz recolectará las solicitudes en las interfaces, en caso de que existan solicitudes pendientes, el agente de interfaz las ejecuta y envía los datos generados al agente de almacenamiento.
- Si no existen solicitudes en las interfaces, esta información es trasladada al agente de almacenamiento de igual manera. Siempre se necesitará tener un respaldo de las acciones realizadas y la información recaudada dentro del sistema, el agente de almacenamiento actualiza los datos y los guarda.
- El diagrama de estado llega a su fin, representado con el símbolo de actividad final de nodo; esto no quiere decir que el sistema se detiene en algún momento determinado, sólo es una forma de simbolizar el fin de un ciclo, el sistema continuará realizando los mismos estados en ciclos repetitivos.

### 3.3.4 Redes de Petri

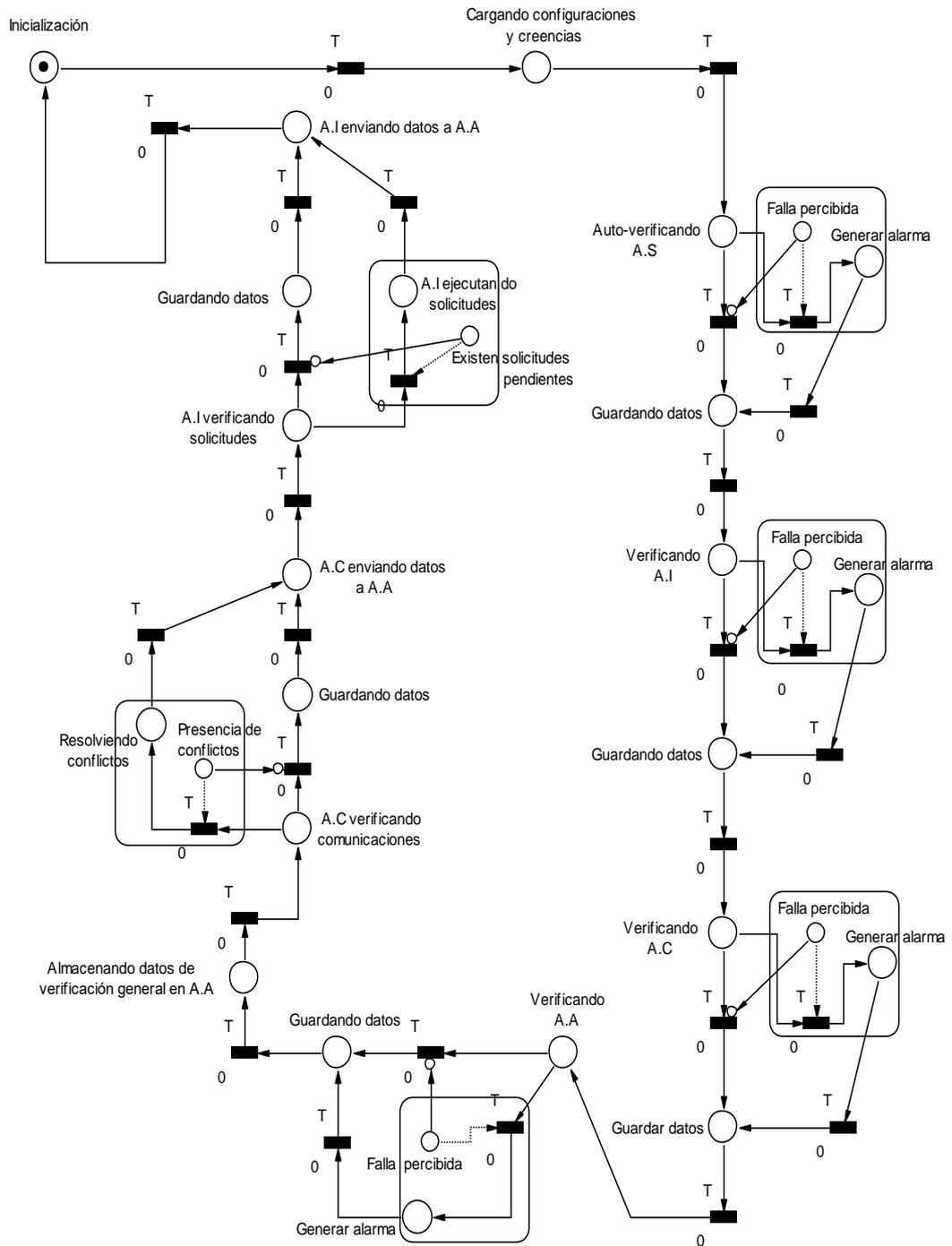
Como se ha descrito en el capítulo anterior, una red de Petri es un conjunto de arcos conectados a lugares y transiciones que se utilizan para modelar y describir matemática y gráficamente un sistema de eventos discretos. El sistema de gestión domótico presentado, está compuesto por elementos autónomos denominados agentes inteligentes. Estos agentes trabajan en base a una arquitectura distribuida de un sistema concurrente, el cual ha sido modelado bajo las normativas de las RdP.

En la Figura 41 se presenta la esquematización del sistema, antecedido por descripción del funcionamiento de la red. Como se puede observar se ha utilizado el diagrama de estado de la Figura 40 y el diagrama de secuencia de la Figura 39 como guía para elaborar la RdP, se han asignado "lugares" a cada uno de los estados del sistema, seguido de arcos y transiciones que permiten el paso del "token" de un lugar a otro; como la teoría lo indica, no pueden existir arcos conectados a lugares ni a transiciones, por tal motivo se ha enlazado una "transición" a todos los "lugares del sistema".

Por otra parte, existen dos lugares para los estados que así lo requieren, esto hace referencia al rumbo que tomará el "token" dentro de la red dependiendo de las respuestas que genere el sistema, además se ha incluido otro "lugar" denominado "respuesta NO recibida" que hace referencia al trayecto que seguirá el "token" en caso de que se presente alguna irregularidad en el sistema, la cual generará la activación de las alarmas, la resolución de conflictos por parte del agente de comunicación o la ejecución de solicitudes designada al agente de interfaz respectivamente.

Finalmente, el "token" sigue su recorrido hasta llegar al fin de una secuencia, e inicia nuevamente en ciclos repetitivos

**Figura 41. Red de Petri del sistema domótico de gestión**



Fuente: El Autor

### 3.3.5 Ecuaciones de la Red de Petri del Sistema de Gestión Distribuido

Las matrices de la RdP del sistema de gestión se han generado bajo las herramientas de la plataforma independiente de código abierto Pipe. Este programa permite la creación y el análisis del funcionamiento del modelado de concurrencia y sincronización de las redes en sistemas distribuidos. El

software proporciona datos que muestran la existencia de puntos muertos, limitaciones, inhibiciones, entre otras múltiples funcionalidades. A continuación, se muestran los resultados de los diferentes módulos obtenidos de la RdP del sistema de gestión domótico:

**Matriz de inhibición H.** En este módulo mostrado en Figura 42 se puede observar a la RdP interactuando en función a una red binaria, es decir, usa la lógica booleana; donde el “cero” representa a un “lugar vacío” y el “uno” a un “lugar ocupado” dependiendo de la transición. Esta matriz indica que no existirá más de una marca de “lugar ocupado” dentro de ningún proceso de la red, además se comprueba que es una red segura al no existir ningún número binario diferente a los indicados con anterioridad, caso contrario se estaría incumpliendo la propiedad de limitación.

**Figura 42. Matriz de inhibición del sistema de gestión**

	T0	T1	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	T19	T2	T20	T21	T22	T23	T24	T25	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
P0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
P11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P13	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P17	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
P28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
P29	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P30	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P31	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
P5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
P8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: El Autor

**Matriz de marcado.** Se designa la sentencia inicial que arrojó la simulación del circuito. Como se observa en la Figura 43, existen marcas dentro de la matriz agrupadas en dos categorías, P0 ha sido considerada como la inicialización la red y las otras marcas situadas en “Pn” con un “1” lógico significan el cumplimiento de cada uno de los procesos externos que integran el sistema.

**Figura 43. Matriz de marcado de la Rdp**

	Marking																															
	P0	P1	P10	P11	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P2	P20	P21	P22	P23	P24	P25	P26	P27	P28	P29	P3	P30	P31	P32	P4	P5	P6	P7	P8	P9
Initial	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0
Current	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0

Fuente: El Autor

**Transiciones habilitadas.** Para este módulo de matriz sólo se encuentra habilitada la marca "T0" esto sucede en consecuencia a la marca "P0" que lo antecede, por tal motivo, en la Figura 44 se muestra la inicialización del sistema con una marca de inicio.

**Figura 44. Matriz de transiciones habilitadas de la Rdp**

	Enabled transitions																										
	T0	T1	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	T19	T2	T20	T21	T22	T23	T24	T25	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	
	yes	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no

Fuente: El Autor

**Análisis del espacio de estados.** Este módulo construye un árbol de todas las marcas alcanzables que se utiliza para determinar las propiedades cualitativas de la red de Petri dada: delimitación, ausencia de bloqueo y seguridad. También proporciona el camino más corto al interbloqueo en el caso de que exista uno. Como se muestra en la Figura 45 la propiedad de limitabilidad es "verdadera" lo que indica que no habrá más de una marca en las interacciones, a excepción de las marcas de inicio que fueron asignadas, las cuales no son acciones que trabajan simultáneamente sino como acciones externas; El parámetro de seguridad, arrojó como resultado "verdadero" con esto se determina que la red alcanzará la ejecución de todos los estados sin dejar ninguno por fuera; finalmente del parámetro punto muerto es "falso", es decir que la red cumple con la propiedad de vivacidad, al no encontrarse puntos muertos dentro de la red, no se ocasionarán lazos infinitos, por ende, no existirán inhibiciones que entorpezcan la eficiencia del proceso. Una vez analizado y comprobado el cumplimiento de todos los parámetros, se puede deducir que la red actuará en función a los

requerimientos deseados, permitiendo alcanzar un óptimo funcionamiento y fiabilidad al momento de llevar a cabo la implementación del sistema.

**Figura 45.** Resultado del análisis de espacio de estados

#### **Petri net state space analysis results**

<b>Bounded</b>	true
<b>Safe</b>	true
<b>Deadlock</b>	false

Fuente: El Autor

### **3.4 Implementación del Sistema de Gestión Domótica**

Una vez concluido el diseño del modelado UML y la esquematización del sistema domótico de gestión fundamentado en la teoría de redes de Petri, se procede al análisis individual de cada uno de los elementos que conforman la red. Se considerarán cada uno de los nodos descritos en el subtema 3.2.3, el cual hace énfasis a la arquitectura de la red que será empleada, es importante destacar que cada uno de los nodos constituye una configuración interna organizada de tal manera que le permitirá cumplir con los objetivos predeterminados de los agentes de gestión. Para la estructuración de estos objetivos, se elaborarán diagramas de flujo para cada agente, partiendo desde las tareas que fueron asignadas a cada uno de ellos, descritas en el diagrama de secuencia y diagrama de estado presentados en subcapítulos anteriores.

La arquitectura de hardware del sistema mostrado en, ha sido diseñada para la implementación general de cada uno de los agentes de gestión, en otros términos, los cuatro agentes implícitos en el sistema dispondrán de una misma arquitectura, no obstante, se añadirán dispositivos a ciertos agentes que contribuirán con el prototipo de simulación del sistema.

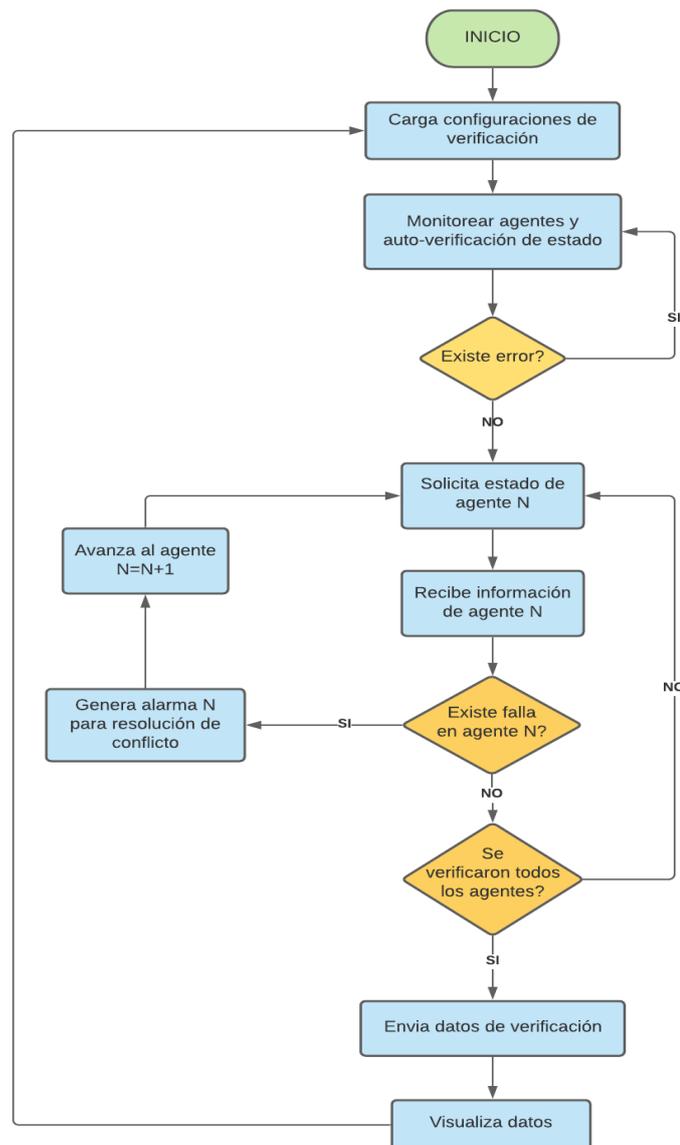
#### **3.4.1 Diseño de Software y Hardware de Nodos de Supervisión y Comunicación**

Estos nodos han sido agrupados en un mismo subtema por la similitud que guardan en el diseño de hardware como se mencionará más adelante, sin embargo, cada una de sus funciones internas serán descritas

individualmente por no existir igualdad entre ellas; por tal motivo se han asignado distintas tareas por las que cada agente tendrá que responder y buscar soluciones en caso de ser necesario, para esto se han elaborado diagramas de flujo que permitirán descifrar su labor dentro del sistema.

**Nodo de supervisión.** En la Figura 46 se puede observar el diagrama de flujo del nodo de supervisión el cual será descrito a continuación: Se da inicio a la carga de configuraciones de verificación que el agente necesita para llevar a cabo sus actividades, como se mencionó en el diagrama de secuencia, el agente supervisor es el encargado de vigilar el funcionamiento de cada uno de los agentes, por tal motivo procede a monitorearlos y a su vez generar su auto-verificación que analizará si él mismo está trabajando de acuerdo a los parámetros establecidos; se origina una decisión que responde a la pregunta "existe error", si es verdadera regresa al estado anterior hasta que sea resuelto el enigma y dé el resultado contrario; se solicita los estados de los demás agentes para su verificación al agente de interfaz, los datos son recibidos por el agente de almacenamiento, en este instante se genera la pregunta "existe falla en agente N" donde N representa a cada uno de los agentes, como se ha indicado anteriormente, el sistema está compuesto por cuatro agentes, de los cuales uno ya fue correctamente verificado, por lo tanto se deben analizar tres más, si el agente N tiene falla se generará la alarma que indicará que existe conflicto y por consiguiente se lo resolverá, en seguida se crea la función "avanza al agente  $N=N+1$ " indicando que el conflicto ha sido resuelto y está preparado para el análisis del siguiente agente, se repite el mismo proceso hasta que ninguno de los agentes presente fallas de operación, una vez concluido, la siguiente decisión tiene como objetivo comprobar que la verificación haya sido efectuada exitosamente, caso contrario regresará a solicitar estado del agente que no esté operando regularmente; al alcanzar la respuesta de la interrogante necesaria, se envían los datos de verificación al agente de almacenamiento para que sean almacenados en la base de datos, finalmente se visualizan los datos entregados por el mismo agente previamente citado para proceder con el inicio del ciclo cerrado nuevamente.

**Figura 46.** *Funcionamiento del NP de supervisión*



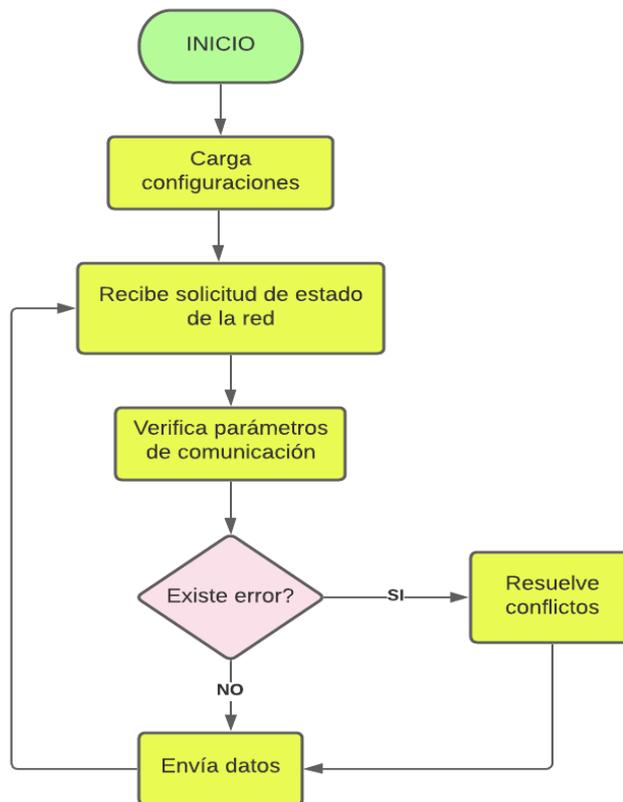
Fuente: El Autor

**Nodo de comunicación.** En la Figura 47 se presenta el diagrama de flujo para el nodo de comunicación, detallando su funcionamiento en la siguiente explicación:

Se cargan las configuraciones que necesitará el agente para desarrollar sus funciones, luego de completar el comando anterior, se recibe la solicitud del agente de almacenamiento, el mismo que requiere el estado actual del comportamiento general de la red. Se verifican los parámetros de comunicación, si existe algún error, el mismo agente resuelve los conflictos encontrados y envía los datos generados, caso contrario sólo se genera automáticamente el envío de

datos que se adquirieron durante cada uno de los estados, incluyendo el "NO" existir errores, información imprescindible que deberá ser recibida por el agente de almacenamiento, una vez concluido este estado se produce nuevamente el ciclo para asegurar el mantenimiento del buen funcionamiento de la red.

**Figura 47.** Diagrama de flujo del NP de comunicación



Fuente: El Autor

En la Tabla 2 se pueden observar las conexiones que se realizarán entre los dispositivos que conforman estos dos agentes, seguida del circuito esquemático para los nodos padre de supervisión y comunicación mostrado en

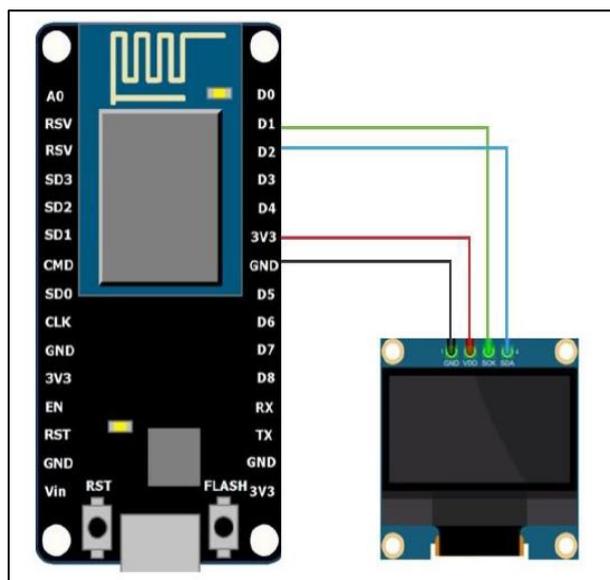
**Figura 48**, los cuales utilizarán el mismo diseño de hardware como se había mencionado con anterioridad, esto se debe a que ninguno de los dos agentes será responsable del almacenaje de datos ni de la comunicación entre las interfaces. El circuito está compuesto por un módulo ESP8266, representando a los dos agentes respectivamente y una pantalla OLED SDD1306 de 128x64 que permitirá la visualización de datos de las tareas ejecutadas por cada agente.

**Tabla 2.** Descripción conexiones de implementación NP

Microcontrolador ESP8266	Pantalla gráfica SDD1306
GND	GND
3V3	VCC
SCL	D1
SDA	D2

Fuente: El Autor

**Figura 48.** Circuito esquemático del "NP de supervisión y comunicación"



Fuente: El Autor

En la Figura 49 se observa la imagen de los nodos o agentes de supervisión y comunicación respectivamente, cada uno de ellos compuestos por el microcontrolador ESP8266 y la pantalla gráfica SDD 1306, siendo el módulo de comunicación Wi-Fi el elemento principal de este agente, este tipo de comunicación le permite interactuar con los demás agentes de gestión. El circuito se alimenta mediante de una fuente de 5V, la misma que energiza el display OLED SDD1306 a través de la conexión con módulo. La pantalla del circuito posibilita la percepción del desarrollo del proceso de gestión entre los agentes inteligentes que integran el sistema domótico.

Figura 49. Agente de Supervisión y Agente de comunicación



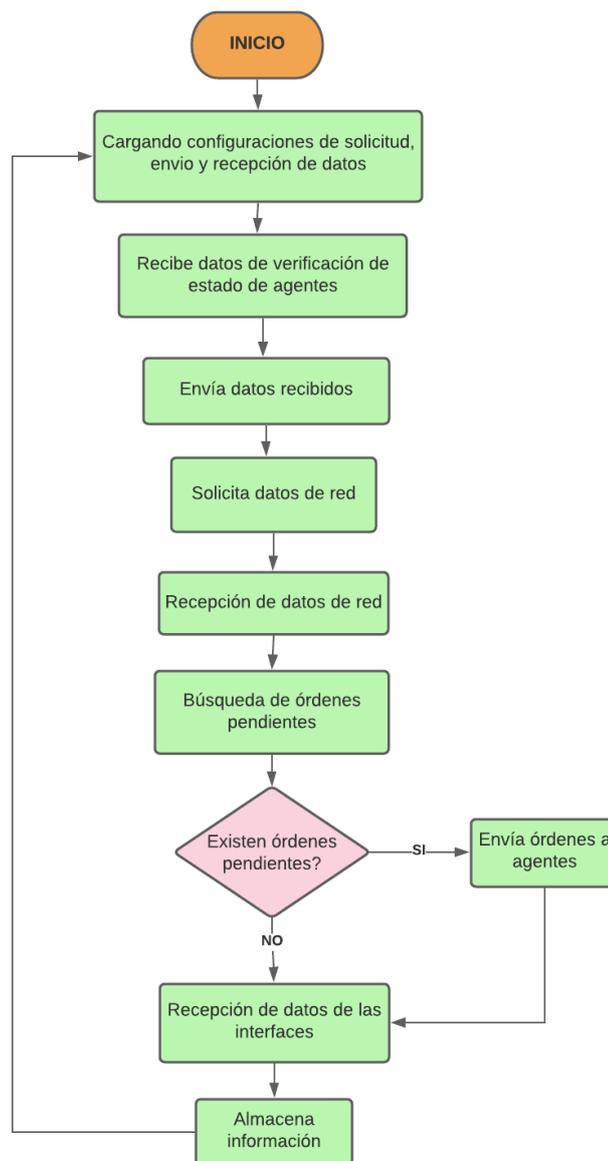
Fuente: El Autor

### 3.4.2 Diseño de Software y Hardware del Nodo de Almacenamiento

A diferencia del agente de supervisión y comunicación, el agente de almacenamiento estará a cargo de la recolección de datos provenientes de los diferentes agentes que recurren a él en primera instancia para resguardar la información adquirida a lo largo de cada una de sus fases. Se ha establecido un flujo ordenado en la asignación de sus tareas que colabore con el eficiente desempeño de este agente.

En la Figura 50 se han especificado cada una las tareas que tiene a cargo este agente, descritas a través de un diagrama de flujo que proporciona su estructura interna.

**Figura 50.** Diagrama de flujo de NP de almacenamiento



Fuente: Autor

La comunicación empieza con el comando de preparación que carga las configuraciones de las tareas del NP de almacenamiento, el agente recibe los datos de verificación de todos los agentes generados por el A.I., los envía al A.S. y procede a solicitar datos del estado de la red, recibe los datos y da paso a la búsqueda de órdenes pendientes en su base de datos, en caso de existir órdenes, las envía al agente correspondiente para que las ejecute y en caso de no existir, pasa al siguiente estado, en el que recibe los datos brindados por el usuario al agente de interfaz, para luego almacenar toda la información adquirida y repetir el proceso nuevamente.

### Especificaciones de las conexiones.

En la Tabla 3 se detallan las conexiones de los elementos que integrarán al agente de almacenamiento, como se puede observar al circuito lo conforman tres dispositivos mostrados en el circuito esquemático de la Figura 51, cada uno de ellos representan partes fundamentales en la realización del trabajo asignado a este nodo.

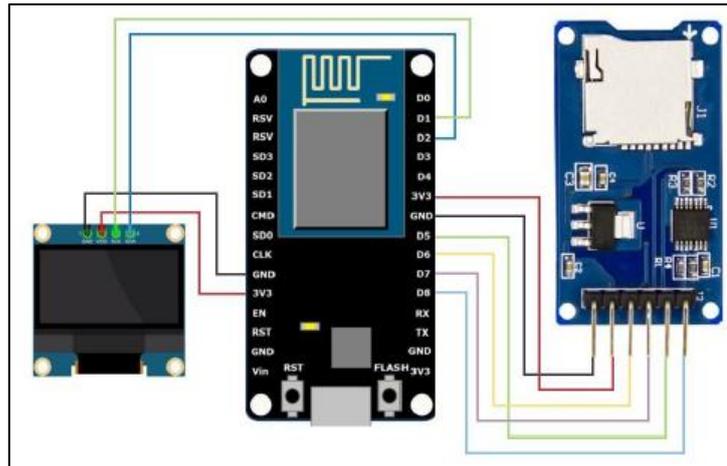
**Tabla 3.** *Conexiones de dispositivos para agente de almacenamiento*

<b>Pantalla gráfica SDD 1306</b>	<b>Microcontrolador ESP8266</b>	<b>Lector Micro SD</b>
<b>GND</b>	GND	GND
<b>VCC</b>	3V3	VCC
<b>SCL</b>	D1	-
<b>SDA</b>	D2	-
-	D6	MOSI
-	D7	MISO
-	D5	SCK
-	D8	CS

Fuente: El Autor

El circuito se compone por el módulo ESP8266 que representa el agente de almacenamiento; una pantalla gráfica SDD 1306 128x64 que mostrará datos relevantes de la operación del agente y por último un lector MicroSD en el que se guardarán los datos generados y enviados hacia el por los distintos actores del sistema.

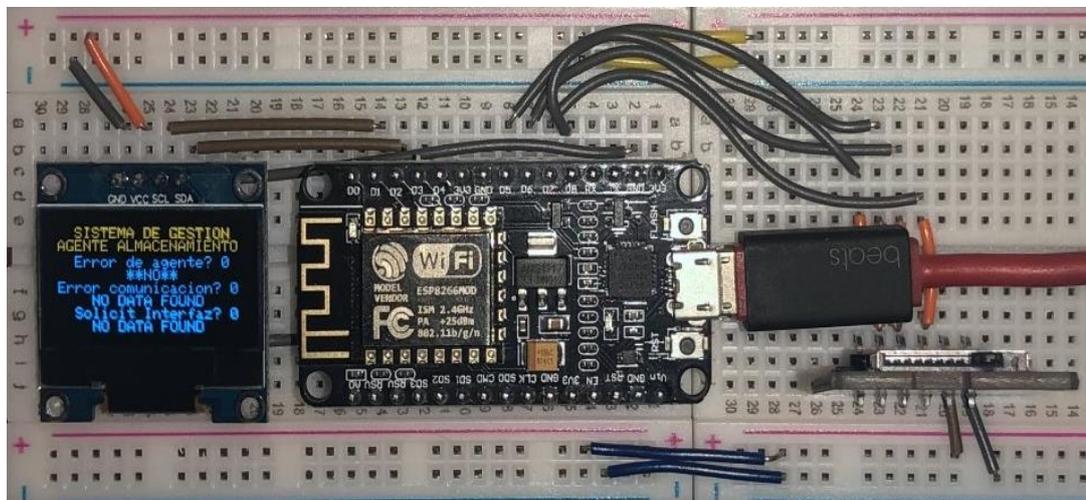
**Figura 51.** Circuito de implementación del NP de almacenamiento



Fuente: El Autor

En la **Figura 52** se presenta la fotografía de la implementación del agente de almacenamiento, para la cual se siguieron las conexiones especificadas en la Tabla 3 y diseñado como se estableció en la Figura 51 con el microcontrolador Wi-Fi ESP8266, la pantalla OLED SDD1306 seguida del lector de memoria MicroSD, este último dispositivo diferencia a este agente de los dos que se describieron al inicio del subcapítulo, cada agente tendrá que enviar la información de las tareas realizadas al agente de almacenamiento, además este agente también tendrá la función de enviar datos que requieran los otros agentes en momentos determinados.

**Figura 52.** Implementación del agente de almacenamiento



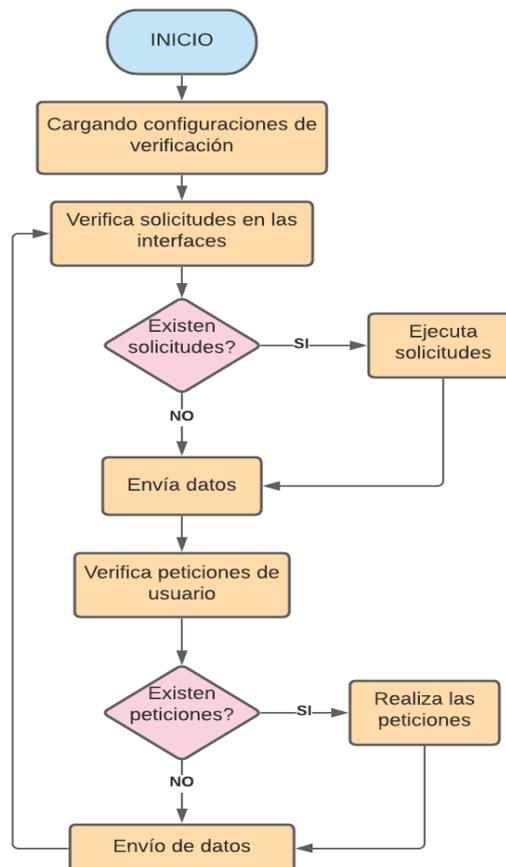
Fuente: El Autor

### 3.4.3 Diseño de Software y Hardware del Nodo de Interfaz

El nodo padre de interfaz es la conexión de comunicación directa entre el usuario y el software que posibilita el envío y recepción de datos, es decir que, mientras la red de gestión domótica se encuentra interactuando entre sí en busca de cambios en el entorno, el usuario tendrá la posibilidad de visualizar datos operativos además de llevar a cabo el control necesario acerca del sistema en relación a su perspectiva. Al alcanzar la interacción en conjunto de estos dos actores se logra una integración eficiente de los algoritmos del proceso inteligente.

Como se ha podido percibir en los diagramas de flujo de los demás agentes, han sido asignadas diferentes obligaciones que cada uno de ellos será responsable de cumplir. El agente de interfaz no es la excepción, por tal motivo se han estipulado una serie de tareas de las cuales estará a cargo mostradas en el diagrama de flujo de la Figura 53 y descritas a continuación:

**Figura 53.** Diagrama de estado de NP de Interfaz



Fuente: El Autor

Se cargan las configuraciones de verificación para dar inicio a la ejecución de tareas, se verifican la existencia de solicitudes dentro de las interfaces, si existen, se las ejecuta, en caso de no existir se genera el envío de datos al A.A., la siguiente tarea verifica las peticiones del usuario, es decir solicitudes que el usuario esté ordenado en momento, se ejecutan las peticiones si las hay, sino se envían todos los datos recolectados al NP de almacenamiento y la secuencia comienza a plantearse nuevamente de la misma manera.

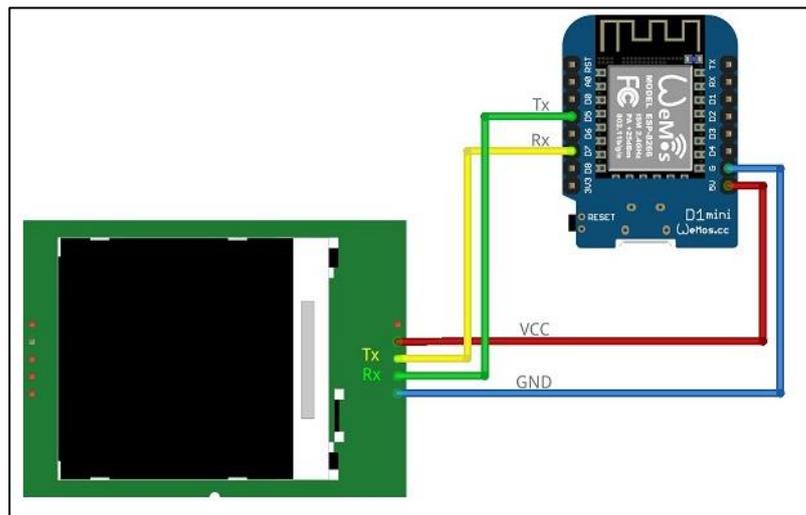
En la Tabla 4 se muestran las configuraciones técnicas entre los elementos que integran el agente de interfaz, de igual manera en la Figura 54 se expone el circuito esquemático con las conexiones realizadas para la simulación del nodo padre correspondiente. Para la demostración de su funcionamiento se ha precisado del módulo ESP8266 y el display Nextion NX4024K032, una pantalla touch resistiva de 157.5 x 94.5 con una memoria RAM de 3584 Bytes, haciendo referencia a la interfaz que sostiene contacto directo con el usuario, simbolizando la aplicación de una interfaz hombre-máquina (HMI), la cual relaciona estrechamente al ser humano con el proceso domótico.

**Tabla 4.** *Conexiones entre elementos del nodo de Interfaz*

<b>Microcontrolador ESP8266</b>	<b>Pantalla táctil NX4024K032</b>
<b>GND</b>	GND
<b>3V3</b>	VCC
<b>TX</b>	RX
<b>RX</b>	TX

Fuente: El Autor

**Figura 54.** Circuito esquemático de conexiones del agente de Interfaz

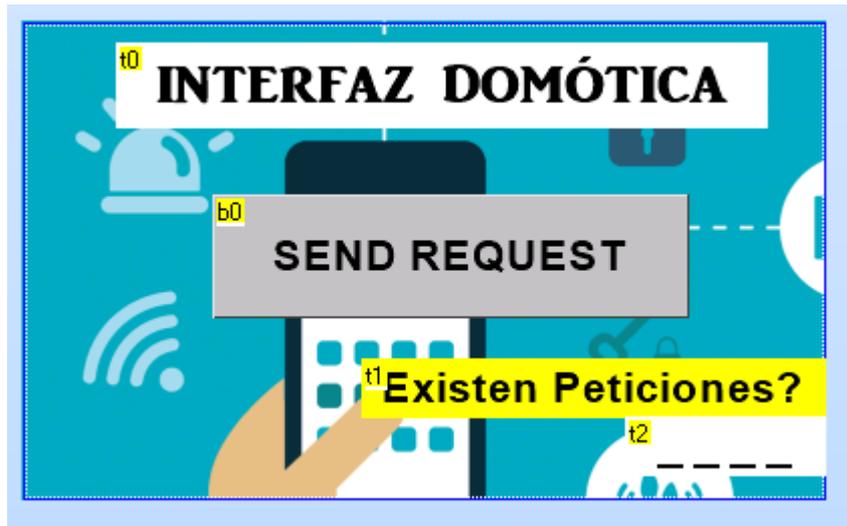


Fuente: El Autor

En la Figura 55 se observa la interfaz hombre-máquina, desarrollada en el entorno del software de Nextion, se generó un botón con el nombre “Send Request” que hace referencia al envío de solicitudes por parte del usuario y para corroborar que los datos hayan sido enviados, se hace la pregunta que comprueba la existencia de alguna petición, generando una respuesta afirmativa o negativa según sea el caso. Para intercomunicar este agente, se ha utilizado el microcontrolador ESP8266 WiFi conectado a la pantalla táctil NX4024K032 que servirá para recibir los datos del usuario y enviarlos al almacenamiento. El tipo de memoria del display es EEPROM, es decir, permite la modificación de su programación, encado de ser necesario; además, trabaja con comunicación serial TTL y un dispositivo de recepción UART.

Este tipo de pantallas pueden ser implementadas sin ningún inconveniente en las viviendas inteligentes, aportando una programación amigable y un estilo atractivo para el hogar, funcionando como un dispositivo de emisión y recepción.

**Figura 55.** *Interfaz domótica en NEXTION*



Fuente: El Autor

### **3.5 Pruebas Experimentales del Sistema Multi-agente de Gestión**

En base al prototipo elaborado se llevarán a cabo varias pruebas experimentales que permitirán comprobar el funcionamiento del sistema de acuerdo a los parámetros estudiados y desarrollados a lo largo de este capítulo, con el fin de obtener resultados satisfactorios que brinden respuestas favorables al problema de la investigación que ha sido planteado previamente.

#### **3.5.1 Pruebas de Pérdida de Paquete de Datos Durante la Lectura de Solicitudes**

**Objetivo.** Contabilizar las solicitudes de lectura (SL) que no pudieron ser captadas dentro de la red o que no recibieron respuesta alguna.

**Variables.** Cantidad de solicitudes de lectura emitidas y cantidad de datos perdidos durante el proceso.

**Desarrollo del Proceso.** Existen cuatro NP dentro de la red de gestión, los cuales han sido distribuidos en un rango de 5 a 15 metros para realizar las pruebas necesarias, enviando y recibiendo datos a partir del funcionamiento del sistema. Se tomaron los resultados desde el nodo de supervisión, por ser el que encabeza la red según la estructura jerárquica, por lo tanto, se obtuvieron tres diferentes valores. Para

ejecutar los cálculos y generar los resultados, se conectó el nodo de supervisión y el de comunicación a diferentes distancias y en ordenadores separados, donde se generaron valores de pérdida en cuanto a recepción y envío de datos.

### **Obtención y Análisis de Resultados.**

**Nodo de Supervisión (15 metros).** Se realizó esta prueba enviando 2153 datos, obteniendo un total de 1932 datos recibidos y 221 que se perdieron en el canal inalámbrico o sin respuesta alguna. Como resultado, según los cálculos matemáticos, se tuvo un porcentaje de solicitudes pérdidas del 10.26%.

$$\%D_{perdidos} = \frac{221 D_{perdidos}}{2153 D_{enviados}} * 100 = 10.26\%$$

**Nodo de Supervisión (10 metros).** Se enviaron 846 datos a esta distancia, obteniendo un total de 825 datos recibidos y 21 que no llegaron a su destino o sin respuesta alguna. Como resultado, según los cálculos matemáticos, se tuvo un porcentaje de solicitudes pérdidas del 2.48%. A través de este resultado, se puede comprobar esta teoría que, en distancias menores de 10 metros con obstáculos, no debería existir más del 5% de pérdidas.

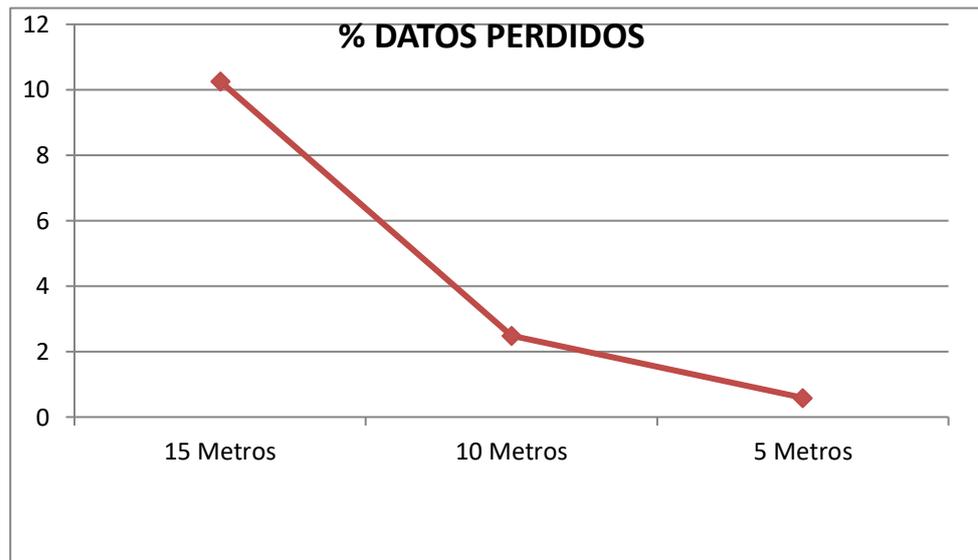
$$\%D_{perdidos} = \frac{21 D_{perdidos}}{846 D_{enviados}} * 100 = 2.48\%$$

**Nodo de Supervisión (5 metros).** Se enviaron 1312 datos a esta distancia, obteniendo un total de 1307 datos recibidos y 5 que no llegaron a su destino o sin respuesta alguna. Como resultado, según los cálculos matemáticos, se tuvo un porcentaje de solicitudes pérdidas del 0.59%

$$\%D_{perdidos} = \frac{5 D_{perdidos}}{846 D_{enviados}} * 100 = 0.59\%$$

**Resultados.** Se obtuvo menos del 1% de pérdida de datos en distancias menores a cinco metros con obstáculos desde el NP de supervisión como referencia, determinados mediante los cálculos realizados y mostrada en la gráfica estadística de la Figura 56, con esto se concluye que la red propuesta es confiable para ser implementada en ambientes domóticos, brindando un seguro y eficiente funcionamiento de sus tareas.

**Figura 56.** Gráfica estadística de datos perdidos vs. Distancia



Fuente: El Autor

### 3.5.2 Tiempo de Respuesta de las Comunicaciones entre Nodos de Gestión

**Objetivo.** El objetivo de esta prueba es determinar el tiempo de respuesta exacto de los nodos padre al recibir solicitudes o comandos que deban ser ejecutados dependiendo de la acción que se vaya a realizar.

**Procedimiento.** Se ha tomado como referencia al nodo padre de supervisión y separado del resto de nodos en distancias con obstáculos especificadas en el subtema anterior (15, 10, 5 metros respectivamente), para luego ejecutar el procedimiento de obtención de tiempo de respuesta entre las comunicaciones, para esto se utilizaron dos computadores, donde se conectó al nodo de supervisión en uno de ellos y los otros nodos fueron conectados sucesivamente, de esta

manera se determinaron los valores de tiempo de recepción y emisión de datos.

**Análisis.** La prueba resultó exitosa gracias a la estructurada distribución de tareas y el trabajo de los microcontroladores, se obtuvieron tiempos de respuestas mínimos, casi inapreciables para el usuario, por lo tanto, se puede determinar que la red es eficiente y confiable. En la Tabla 5 se muestran los tiempos empleados detalladamente durante la emisión y recepción de datos:

**Tabla 5.** *Tiempo de retardo en la emisión y recepción de datos*

DISTANCIA	TIEMPO DE EMISIÓN	TIEMPO DE RECEPCIÓN	TIEMPO DE RESPUESTA
15 METROS	18:32:18.750	18:32:18.879	129ms
10 METROS	21:16:05.566	21:16:05.631	65ms
5 METROS	8:01:58:069	8:01:58:070	0.4ms

Fuente: El Autor

**Resultados.** La Tabla 5 presentó los resultados de las pruebas que se ejecutaron con relación al tiempo de retardo según la distancia, el mayor tiempo que tomó la recepción de datos fueron 129 ms, se considera que la comunicación entre agentes dentro de la red es eficiente.

### 3.5.3 Tiempo de Respuesta desde el Agente de Interfaz

**Objetivo.** Obtener el tiempo de respuesta desde el instante en el que el usuario envía las solicitudes hasta que sean receptadas por el NP de interfaz.

**Procedimiento.** La interfaz del sistema de gestión la representa la pantalla táctil NX4024K032, analizada anteriormente. Para llevar a cabo esta prueba se interconectará el display al NP de interfaz (conectado al ordenador), permitiendo visualizar los datos que están siendo transferidos, enviando solicitudes (consideradas como peticiones del usuario) hacia la interfaz, obteniendo el tiempo en el que

el agente demora en receptorlas.

**Análisis.** Se realizó la misma prueba tres veces para corroborar la veracidad de los resultados, obteniendo tiempos de respuestas similares entre ellos. El display estuvo situado a centímetros del NP de interfaz, permitiendo que la comunicación entre ellos sea muy eficaz. En caso de que no se puedan ubicar a esta distancia, se recomienda situarlos a distancias no mayores de cinco metros para que se conserven resultados similares a los que se generaron en esta prueba. En la Tabla 6 se pueden observar la diferencia en segundos del momento en el que el NP adquiere los datos de las pruebas realizadas.

**Tabla 6.** *Tiempo de respuesta de solicitudes del NP de interfaz*

TIEMPO DE EMISIÓN	TIEMPO DE RECEPCIÓN	TIEMPO DE RESPUESTA
18:32:18.477	18:32:18.879	2ms
21:16:05.629	21:16:05.631	2ms
8:01:58:069	8:01:58:070	1ms

Fuente: El Autor

**Resultados.** La recepción de datos por parte del NP de interfaz se ejecutó de manera eficaz, tiempo imperceptible para el usuario. El mayor tiempo de respuesta fue de 2 ms, esto muestra la eficiencia del sistema en cuanto a las peticiones de usuario y el correcto funcionamiento de la pantalla como interfaz.

#### 3.5.4 Pruebas de Cobertura de la Red de Gestión WiFi

**Objetivo.** Realizar pruebas que permitan conocer el porcentaje de alcance de precisión de datos durante el envío y recepción de datos entre los NP con obstáculos, alcanzando un rango superior al 95% para que la red pueda resultar completamente fiable con relación al análisis planteado.

**Procedimiento.** Se ha tomado como referencia al nodo padre de supervisión y separado del resto de nodos en distancias con obstáculos

(12, 8, 5 metros respectivamente), para luego la precisión con respecto al envío y lectura de datos, para esto se utilizaron dos computadores, donde se conectó al nodo de supervisión en uno de ellos y los otros nodos fueron conectados sucesivamente al otro computador, de esta manera se determinaron los valores que serán analizados posteriormente, en base al número de lecturas erróneas y la distancia que existe entre los nodos.

**Análisis.** Al desarrollar la prueba experimental, se obtuvieron diferentes porcentajes considerando la distancia, la precisión no fue menor del 85% en ninguno de los casos, lo que indica que el objetivo de la prueba fue cumplido, en la Tabla 7 se especifican los datos utilizados y los resultados que se alcanzaron, seguida de una gráfica estadística (Figura 57) que representa los resultados obtenidos.

**Tabla 7.** *Resultados de precisión de comunicación*

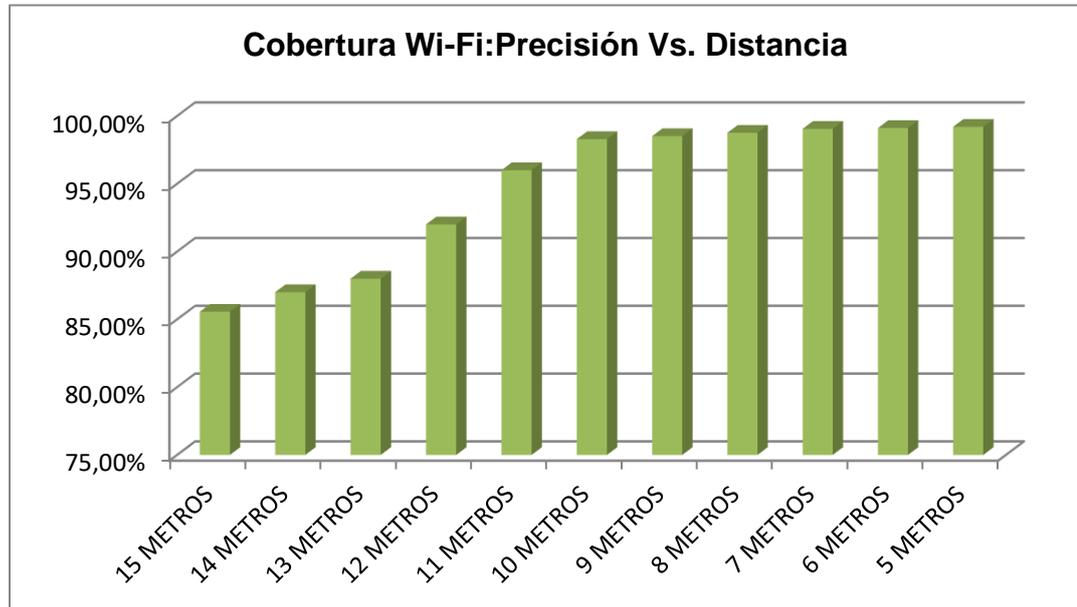
<b>DISTANCIA</b>	<b>% PRECISIÓN</b>
<b>15 METROS</b>	85,56%
<b>14 METROS</b>	87%
<b>13 METROS</b>	88%
<b>12 METROS</b>	92%
<b>11 METROS</b>	96%
<b>10 METROS</b>	98,29%
<b>9 METROS</b>	98,51%
<b>8 METROS</b>	98,76%
<b>7 METROS</b>	99,05%
<b>6 METROS</b>	99,11%
<b>5 METROS</b>	99,20%

Fuente: El Autor

**Resultados.** Al realizar las pruebas se pudo determinar un 98.39% de precisión en el envío/recepción de datos entre nodos con una distancia

de 8 metros, considerando una distancia óptima para la distribución de los nodos. Según el planteamiento propuesto inicialmente, se busca una precisión superior al 95% para mejores resultados de comunicación y no menor al 85% para determinar si una red es verdaderamente estable.

**Figura 57. Estadística distancia vs precisión**



Fuente: El Autor

## **CAPÍTULO 4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Este capítulo tiene como objetivo presentar los resultados alcanzados a través del estudio realizado en el trabajo investigativo, con la finalidad de analizar y comprobar la eficiencia del sistema propuesto con relación a otros de similar índole.

### **4.1 Presentación de Resultados**

En este apartado se resumirán las aportaciones específicas obtenidas en cada una de las secciones estudiadas, relacionadas a la teoría analizada para lograr el desarrollo de hardware, software y diseños gráficos elaborados para la definición de las funciones del sistema y los prototipos integrados que permitieron cumplir con las pruebas experimentales.

#### **4.1.1 Resultados del Estado Arte**

Esta sección recaudó información sustancial de diferentes trabajos investigativos, los cuales aportaron significativamente al desarrollo del presente trabajo, se analizaron cada uno de ellos con el fin de enriquecer conocimientos previos y expandir cada uno de los temas que fueron estudiados durante la investigación, además de contribuir con características esenciales que sirvieron de apoyo para el desarrollo del mismo.

En el estudio realizado se pudo deducir que, el avance tecnológico con relación a los sistemas domóticos ha crecido de manera exponencial en estos últimos años, por lo tanto, se han desarrollado arquitecturas que incluyen redes de sensores que permiten comunicarse entre sí para cumplir con los objetivos propuestos, es ahí cuando intervienen los "multi-agentes", fundados a partir de creencias e intenciones individuales, creando una atmósfera de interacción inteligente que les proporciona información fundamental para actuar según sea el caso. Cada uno de estos elementos dispone de inteligencia propia y son capaces de tomar decisiones a partir de sus convicciones, sin recibir aprobación alguna, trabajan en base a una arquitectura distribuida, coordinando acciones y tareas mediante la transferencia de datos, además se adaptan a la denominada estructura heterárquica, en donde los elementos que constituyen el sistema no son

clasificados de manera específica, sino de tal forma que cada uno de ellos juegue un rol fundamental dentro del sistema.

#### **4.1.2 Resultados las Arquitecturas**

La arquitectura distribuida utilizada en el sistema de gestión, permitió mantener la estructura domótica en correcto funcionamiento, a partir de la repartición de las tareas asignadas a cada uno de los agentes implícitos. Cada agente cuenta con su propio microcontrolador (ESP8266), se facilitó el proceso de ejecución de las acciones a lo largo del desarrollo del procedimiento. Incluso se pudo utilizar el dispositivo de interfaz para ser admitido como procesador de información, a través de la relación hombre-máquina, creando lazos directos entre el usuario y el sistema. Se definieron cuatro NP, en donde se establecieron vínculos NP-NP, en donde su comunicación se efectúa a través de enlaces Wi-Fi para el intercambio de información y la resolución de conflictos.

Fueron designadas tareas específicas a cada NP, los cuales toman acciones en tiempo real, generando respuestas inmediatas a las solicitudes existentes en la red, por su propiedad de adaptabilidad y reacción, son capaces de adaptarse a cualquier cambio que pueda existir, con el fin de satisfacer sus necesidades internas. Por otro lado, a pesar de haber diseñado un esquema jerárquico, el sistema multi-agente se basa en una estructura en la que todos los agentes tienen el mismo grado de inteligencia y no existe un nivel de importancia dentro de la red, más bien cualquiera puede tomar el control del sistema si lo considera necesario, solo sí no se interpone entre las tareas que deben ser realizadas por los otros agentes. Para evitar conflictos entre ellos, se estableció al agente de supervisión como el iniciador del proceso, esto no significa de ninguna manera que el posea mayor dominio sobre los otros integrantes del sistema, más bien contribuye a mantener el orden del proceso comunicativo.

#### **4.1.3 Resultados del Modelado UML y Redes de Petri**

Los diagramas UML se usaron para modelar tres estructuras claves para definir el funcionamiento del sistema, los resultados que se obtuvieron de cada una de ellas se muestran a continuación:

- Diagramas de caso de uso: Se modelaron diferentes diagramas que permitieron determinar la interacción de cada actor con el sistema, asignándoles tareas generales, que luego fueron utilizarlas en estructuras con mayor grado de definición.
- Diagrama de secuencia: Este modelado se elaboró a partir del diagrama de flujo general y de los diagramas de casos de uso, clasificando las tareas de cada agente, permitiendo estructurar el proceso que el sistema llevará a cabo de manera sucesiva, ordenada y definida.
- Diagrama de estado: Se definieron los pasos específicos que manejará el sistema, permitiendo desarrollar con facilidad el orden de cada una de las tareas que fueron definidas en los diagramas anteriores, otorgándoles una estructura más detallada del funcionamiento de la red.

Las redes de Petri cumplieron con los parámetros propuestos para que la red se pueda considerar fiable. No existen números binarios diferente a "1" y "0" en la matriz H, esto quiere decir que cumple con la propiedad de limitación; por otro lado el análisis de espacio de estado determinó que la red es segura, ejecutando todos los procesos existentes, sin dejar ninguno por fuera; la red no producirá lazos infinitos, esto significa que el parámetro de punto muerto es falso; por último no existirá más de una marca en las interacciones cumpliendo con la ausencia de bloqueo y por ende con todas las propiedades, concluyendo que no existirán inconvenientes en la red que perjudiquen su funcionamiento.

#### **4.1.4 Resultados de la Implementación**

Las pruebas realizadas determinaron la veracidad de la red domótica de gestión en cuanto a funcionamiento y comunicación entre los cuatro nodos que forman parte del sistema: nodo de supervisión, comunicación, almacenamiento y de interfaz. Para llevar a cabo la implementación se elaboraron diagramas que permitieron estructurar las funciones de cada uno de los agentes, para luego desarrollar el prototipo físico, el cual sirvió de apoyo para la obtención de los resultados de las pruebas de implementación,

logrando los objetivos propuestos y generando un diseño de interfaz agradable con el usuario.

#### **4.1.5 Resultados de Pruebas Experimentales**

Se realizaron pruebas experimentales necesarias que comprobaron la eficacia en cuanto al funcionamiento y la comunicación de la red propuesta, para ello, se plantearon objetivos que fueron alcanzados satisfactoriamente, a continuación, se muestran los resultados obtenidos en cada una de las pruebas:

- Se obtuvo un porcentaje en cuanto a pérdida de datos del 2.48% en distancias de 8 metros, cumpliendo con el objetivo planteado inicialmente de no superar el 5% en distancias menores de 10 metros.
- La recepción de datos se obtuvo en un tiempo máximo de 0.429 segundos en una distancia considerable de 15 metros.
- El tiempo máximo de respuesta de solicitudes entre la interfaz de usuario y el NP de interfaz fue de 0.002.
- Con una distancia de 8 metros se obtuvo el 98.39% de precisión, se determina un límite de distancia de hasta 10 metros, evitando que el sistema presente inconvenientes en algún instante del proceso comunicativo.

#### **4.2 Discusión de Resultados**

Este subcapítulo presenta los resultados generales adquiridos en el trabajo investigativo, de tal manera que se planteen las respuestas o soluciones obtenidas con relación a los objetivos y problemas proyectados inicialmente, para los cuales se desarrollaron soluciones factibles que permitirán implementar la red de gestión en entornos domóticos.

##### **4.2.1 Discusión del cumplimiento de las funciones del sistema**

Cada agente que forma parte de la red domótica de gestión cuenta con varias tareas que fueron asignadas mediante el desarrollo de diagramas UML que permitieron asignarlas a los agentes apropiadamente, dependiendo de su función dentro del sistema. Mediante el estudio y análisis investigativo se definieron arquitecturas de control y diseño de software y hardware, las cuales

permitieron gestionar el modelado del sistema y determinar los siguientes argumentos:

- A pesar de ser un sistema con una arquitectura heterárquica, se estableció al NP de supervisión como nodo principal, inspeccionando a todos los agentes al arrancar el sistema.
- El NP de almacenamiento se encarga de recibir y guardar los datos generados por todos los agentes durante la ejecución de sus tareas.
- El agente de comunicación vigila que la comunicación dentro de la red se mantenga estable y dentro de los parámetros requeridos.
- El usuario envía las solicitudes al sistema mediante el agente de interfaz.
- En caso de existir algún problema dentro del sistema, cada agente es capaz de resolverlo independientemente en base a sus creencias o puede solicitar ayuda si es necesario, esto se debe a sus propiedades de autonomía, racionalidad y sociabilidad.
- Según las pruebas realizadas, la red es estable y confiable, la cobertura de comunicación es de una distancia de diez metros con obstáculos.
- Mediante las pantallas gráficas se logran visualizar los datos generados por las pruebas experimentales con relación a cada uno de los agentes.
- La pantalla táctil sirve como interfaz de comunicación directa entre el usuario y el sistema.
- El sistema domótico de gestión alcanzó satisfactoriamente la ejecución de las tareas planteadas en los diagramas UML.

#### **4.2.2 Cumplimiento de Objetivos**

En este apartado, se comprueba el cumplimiento de los objetivos del trabajo de investigación, planteados en el primer capítulo y su método de aplicación dentro del sistema propuesto.

##### **Objetivos específicos.**

Se logró el diseño de la red inalámbrica mediante módulos de comunicación Wi-Fi (ESP8266), compuesta por cuatro nodos padre que fueron comunicados exitosamente bajo el protocolo ESP-NOW. Se ha proyectado, diseñado y modelado una arquitectura basada en agentes

inteligentes, que ejecutan sus tareas en base a diferentes parámetros basados en el modelo BDI, tomando decisiones propias en base a sus creencias, evitando conflictos que puedan generar colisiones dentro de la red. El desarrollo de las pruebas experimentales determinó la eficacia de la red, al conseguir resultados favorables en los tiempos de respuesta de recepción de datos, al igual que en la pérdida de datos, generando valores numéricos relativamente bajos, por tal motivo la red se considera estable y eficiente en cuanto a su capacidad de conectividad. Con la información citada se puede deducir que cada uno de los objetivos planteados fueron cumplidos satisfactoriamente.

### **Objetivo general**

El cumplimiento de los objetivos específicos, denota el cumplimiento del objetivo general. Sin embargo, se realizan las siguientes puntualizaciones: El modelado de la arquitectura de gestión domótica mostró un prototipo estructurado de comunicación y asignación de tareas; basada en una arquitectura distribuida y heterárquica, mediante la cual se logró alcanzar el propósito de cada agente inteligente dentro del sistema. La red fue diseñada mediante diagramas UML y redes de Petri e implementada sobre microcontroladores que cumplieron con los estándares de funcionamientos propuestos, determinados a través de varias pruebas que contribuyeron con la comprobación de la eficacia de la red, comunicada a través de una red Wi-Fi.

### **4.2.3 Solución al Problema de Investigación**

¿De qué manera influye la arquitectura de un sistema multi-agente en la gestión eficiente de un sistema de control distribuido domótico?

El proceso de gestión en una red domótica basada en agentes inteligentes forma parte fundamental de los procesos internos del sistema, una arquitectura distribuida permite el desarrollo eficiente de cada una de sus tareas, al estar compuesta por microcontroladores independientes se incrementa la velocidad de procesamiento de la información y a su vez contribuye con la descentralización del procedimiento. Cada agente debe conocer sus objetivos, para esto, se tuvo como fundamento el modelo BDI,

asignando de forma estructurada las tareas que deberán realizar los agentes mediante una arquitectura heterárquica, evitando la interferencia en la realización de acciones de los otros agentes y las colisiones dentro del sistema. Además, se emplearon recursos de bajo costo para la implementación del prototipo que proporciona nuevas soluciones en el ámbito domótico.

#### **4.2.4 Aporte del Modelado UML y Redes de Petri**

El modelado UML contribuyó con la distribución ordenada de las tareas asignadas a cada agente dentro del sistema de gestión domótico. Se diseñaron diferentes diagramas con el fin de obtener un lenguaje visual organizado del funcionamiento del sistema y una estructura detallada del comportamiento de los elementos de la red, a través del modelado del flujo de los procesos existentes. Por otro lado, las redes de Petri contribuyeron con la esquematización concreta de las tareas que realiza cada agente y con la obtención de pruebas necesarias que arrojaron resultados positivos en cuanto a la verificación del correcto funcionamiento del sistema, concluyendo que la red es fiable y no presenta errores; datos indispensables para su posterior implementación, aduciendo que no presentará inconvenientes de estructura en base a los resultados.

#### **4.2.5 Aporte de la arquitectura del sistema de gestión multi-agente**

Los objetivos planteados en el presente trabajo han sido alcanzados en su totalidad, además se ha presentado solución al problema de investigación propuesto, al diseñar una arquitectura de gestión domótica eficiente. El sistema se estructuró en base a una arquitectura distribuida que permitió asignar tareas específicas entre agentes y así evitar conflictos dentro de la red. Este modelado alcanzó tiempos de respuesta óptimos en la recepción de datos y cumplió con todos los parámetros especificados en los cálculos matemáticos, por lo tanto, se determina que la red diseñada puede ser adaptada a un entorno domótico de manera confiable.

## **CAPITULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

En esta sección se expondrán las conclusiones y recomendaciones que se generaron al terminar el desarrollo y análisis de los resultados del presente trabajo investigativo, además se realizan consideraciones en trabajo futuro que podrán existir con relación a este tema de investigación.

### **5.1 Conclusiones**

La elaboración de este trabajo de investigación permitió desarrollar conclusiones significativas que serán descritas a continuación:

- Las consideraciones iniciales planteadas al inicio del análisis del sistema, constituyeron un análisis detallado en base a la información recopilada, que permitió identificar y asignar de forma sistemática las acciones principales de los agentes de gestión, facilitando la proyección de una arquitectura eficiente para optimizar el proceso domótico.
- A partir de la elaboración del modelado UML se define el comportamiento de los multi-agentes y sus funcionalidades, facilitando la estructuración del proceso de gestión y asegurando una esquematizada perspectiva del funcionamiento del sistema.
- El modelo BDI en el sistema multi-agente proporciona al sistema una estructura sistemática y rango de órdenes, el cual reduce los conflictos entre los agentes inteligentes y el riesgo de colisiones en la comunicación, evitando fallos en la red.
- La eficiencia del protocolo de comunicación ESP-NOW de los ESP8266, hace posible desarrollar una comunicación altamente eficiente, como la proyectada en la arquitectura distribuida, interconectando varios dispositivos con capacidad de conexión Wi-Fi.
- En las pruebas realizadas en la red de gestión domótica, se obtuvieron resultados que permitieron comprobar la funcionalidad de las arquitecturas propuestas, las cuales fueron modeladas y simuladas con redes de Petri. Las propiedades de la red de Petri, predijeron un comportamiento adecuado del sistema planteado, que fue evidenciando y corroborado a través de pruebas experimentales.

## **5.2 Recomendaciones**

- Los diagramas de flujo presentan la estructura detallada de las funciones de cada uno de los agentes, por tal motivo, se recomienda al lector analizarlos detenidamente para una óptima comprensión.
- El uso de herramientas sencillas como: Visual object net, Pipe, Edraw proporcionan lenguajes gráficos simples que permiten estructurar procesos complejos por medio de una interfaz didáctica, además ayudan en la evaluación de parámetros necesarios que definen el correcto funcionamiento de un sistema determinado.
- Los dispositivos electrónicos han sido sometidos a pruebas de funcionamiento, se recomienda el uso del display Nextion NX4024K032, por su agradable interfaz, bajo costo con relación a sus características y funcionalidades, adaptabilidad y rápida programación.
- Se recomienda revisar la ficha de especificaciones técnicas de los dispositivos que integran el circuito y comprobar el buen estado de los elementos antes de implementarlos, de tal forma, se asegurará la adecuada ejecución de las operaciones.

## **5.3 Trabajo Futuro**

Los sistemas multi-agentes están en constante evolución, cada vez son más los requerimientos del usuario por alcanzar un nivel de confort superior, la arquitectura de gestión desarrollada en el trabajo investigativo servirá de sustento para enfrentar nuevos retos tecnológicos en el ámbito domótico, desarrollando sistemas más estructurados con el uso inteligencia artificial. El prototipo de red describe detalladamente las características primordiales presentes en un sistema de gestión domótico, pueden implementarse otros sistemas que completen el sistema general domótico en base al modelado propuesto.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, J., Rios, A., Hidrobo, F., & Cerrada, M. (2013b, January 1). Sistemas MultiAgentes y sus Aplicaciones en Automatizaci on Industrial. *Universidad de Los Andes, Merida, Venezuela*.
- Akyildiz, I. F., Weilian Su, Sankarasubramaniam, Y., & Cayirci, E. (2002). A survey on sensor networks. *IEEE Communications Magazine*, 40(8), 102–114.  
<https://doi.org/10.1109/MCOM.2002.1024422>
- Alley, P. J. (2011). *Introductory Microcontroller Programming* [Doctoral dissertation, Worcester Polytechnic Institute].  
<https://core.ac.uk/download/pdf/213001185.pdf>
- Baquero Hernández, L. R., Argota Vega, L. E., Rodriguez Valdés, O., & Ciudad Ricardo, F. Á. (2016). Método para el modelado y prueba de Diagramas de Casos de Uso mediante redes de Petri. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 10, 138–149.
- Bogdanović, D., Kvolik, T., & Horvat, G. (2016b). Modular Smart House System Based on a Wireless Sensor Network. *International Journal of Electrical and Computer Engineering Systems*, 7(1.), 15–21.
- Cajas, C. A., Idrovo, R. G., Prócel, C., & Terán, P. G. (2013). *Sistema de seguridad inteligente basado en reconocimiento de patrones mediante tecnología Kinect para restringir el acceso no autorizado a consolas de administración y monitoreo*. Quito, Pichincha.
- Cazau, P. (2006a). Introducción a la Investigación de Ciencias Sociales. *Buenos Aires*, 3, 194.
- Chaouiya, C., Remy, E., & Thieffry, D. (2008). Petri net modelling of biological regulatory networks. *Journal of Discrete Algorithms*, 6(2), 165–177.

- David, R., & Alla, H. (2010b). *Discrete, continuous, and hybrid Petri nets* (Vol. 1). Springer.
- Desel, J., & Esparza, J. (2005b). *Free choice Petri nets* (Primera). Cambridge university press.
- Dunin-Keplicz, B., & Verbrugge, R. (2011). *Teamwork in multi-agent systems: A formal approach* (Vol. 21). John Wiley & Sons.
- Durfee, E. H. (2001). Distributed problem solving and planning. *ECCAI Advanced Course on Artificial Intelligence*, 118–149. [https://doi.org/10.1007/3-540-47745-4\\_6](https://doi.org/10.1007/3-540-47745-4_6)
- Escobar, G., & O lave, C. (2018). *El impacto de un sistema domótico en la evolución de las viviendas colombianas*. Centro de investigaciones AVENIR.
- Espressif Systems. (2020). *ESP8266EX Datasheet*.
- Fuentes, P. (2018). *Estudio de una red de sensores inalámbricos con tecnología Wi-Fi y radiofrecuencia, aplicado a un sistema de control domótico inteligente distribuido*.
- García, J. (2016). *Aprende a Modelar Aplicaciones con UML*. IT Campus Academy.
- Garrido, M., Braun, G., & Roger, S. (2017). *Agentes inteligentes y web semántica: Hacia la verbalización de un subconjunto de UML en una herramienta gráfica web*. XIX Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación.
- Girault, C., & Valk, R. (2001). *Petri Nets for Systems Engineering*.
- Gnazzo, A., Bergaglio, A., Palma, M., Pittoni, F., Giunta, M., & Ballesio, F. (2011). *Powerline Technology Over Coaxial Cables for In-Home Multimedia Applications: Performances and EMC Issues*.
- Gunther, B. (2007). *Introduction to Microcontrollers*.

- Herrera, L. (2005). *Viviendas inteligentes (domótica)*. scielo.
- Huidobro, J. M., Novel, B., Calafat, C., Suller, E., Nogales, A., Toledano, J. C., Santamaria, A., & Lastres, C. (2007). *La Domótica como Solución de Futuro*.
- Iglesias, R. (2016). *Instalación domótica en una vivienda unifamiliar*.
- Jennings, N. R. (2000). *On agent-based software engineering*.
- Jin-Lian, L., Yaw-Yauan, T., Ming-Hu, W., & Yuan-Wu, W. (2018). *Applying ZigBee wireless sensor and control network for bridge safety monitoring*.
- Kimmel, P. (2011). *Manual de UML*. McGraw Hill.
- Lewis, F. L. (2004). *Smart environments: Technology, protocol and applications*.
- Magno, M., Benini, L., Polonelli, T., & Popovici, E. (2015). *A Low-cost, Highly Scalable Wireless Sensor Network Solution to Achieve Smart LED Light Control for Green Buildings*. IEEE Sensors Journal.
- Manda, S., Shukla, Y., Shrivastava, K., Patil, T. B., & Sawant-Patil, S. T. (2018). *A Literature Survey on Wireless Sensor Network in Home Automation Based on Internet of Things*. International Journal of Computer Sciences and Engineering.
- Marsá, I., Navarro, A., López, M., & Velasco, J. (2004). *ARQUITECTURA PARA UN SISTEMA DOMÓTICO BASADO EN AGENTES*. Departamento de Automática. Universidad de Alcalá.
- Mendoza, E., Fuentes, P., Benitez, I., Reina, D., & Nunez, J. (2020). *Red de sensores inalámbricos multisalvo para sistemas domóticos de bajo costo y área extendida*. Revista Iberoamericana.
- Molina González, L. (2010). *Instalaciones domóticas*. McGraw Hill.
- Morales, G. (2011). *La domótica como herramienta para un mejor confort, seguridad y ahorro energético*. Universidad de los Andes Venezuela.

- Neway, D., Sernami, P., Falcionelli, N., & Franco, A. (2019). *Reasoning in Multi-agent Based Smart Homes: A Systematic Literature Review*.
- Palanca, J., del Val, E., García-Fornes, A., Billhardt, H., Corchado, J. M., & Julián, V. (2016). *Designing a goal-oriented smart-home environment*. Springer Science.
- Pico, G. (2018). *ANÁLISIS DE LA PROYECCIÓN DE LA DOMÓTICA EN EL EDIFICIO DE DOCENTE DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ*.
- Pressman, R. S. (2013). *Ingeniería del software: Un enfoque práctico*.  
[http://www.ingebook.com/ib/NPcd/IB\\_BooksVis?cod\\_primaria=1000187&codigo\\_libro=4272](http://www.ingebook.com/ib/NPcd/IB_BooksVis?cod_primaria=1000187&codigo_libro=4272)
- Reinaldo, J., Martinez, J., Pereira, C., Avram, C., & Dan-Stan, S. (2018). *New Trends in Residential Automation*. Springer International Publishing.
- Rodríguez Penin, A. (2013). *Sistemas SCADA*. Alfaomega.
- Ruiz, J. B. (2017). *Sistema Domótico abierto de bajo coste para la mejora de la eficiencia energética*. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Schurgers, C., & Srivastava, M. B. (2001). *Energy Efficient Routing In Wireless Sensor Networks*.
- Song, Z., Qi, Z., Rong, Z., Bi-Qin, H., Yi-Lin, S., & Xin-Chu, C. (2017). *Combining a Multi-Agent System and Communication Middleware for Smart Home Control: A Universal Control Platform Architecture*.
- Sycara, K., & Lewis, M. (2004). *Integrating intelligent agents into human teams*. American Psychological Association.
- Tadao, M. (1989). *Petri Nets: Properties, Analysis and Applications*.

- Tian, F., Wen, F., Wang, X., Xue, Y., & Salam, A. (2016). A Multi-Agent System Based Fault Diagnosis for Active Distribution Systems. *IEEE Innovative Smart Grid Technologies*.
- Torres, G. (2020). *Red Wi-Fi para la comunicación entre agentes inteligentes de un sistema domótico*.
- Torres, M., López, M., & Morales, B. (2017). *Implementación de sistemas domóticos como alternativa de seguridad, confort, comunicación y ahorro energético*. CLACSO.
- Torres, V. (2017). *AUTOMATIZAR CON AUTÓMATAS PROGRAMABLES*.
- Ugalde, D., González, J., Godínez, G., González, A., & Sosa, J. C. (2017). *Revista de Ingeniería eléctrica*.
- Valdés Pérez, F. E., & Pallás Areny, R. (2007). *Microcontroladores: Fundamentos y aplicaciones con PIC*. Marcombo ; Alfaomega.
- Van Der Heyde, F., & Debrauwer, L. (2018). *UML 2.5 Iniciación, ejemplos y ejercicios corregidos*. Eni Ediciones.
- Velmovitsky, P. E., Briot, J.-P., Viana, M., & de Lucena, C. J. P. (2017). Practical reasoning in an argumentation-based decision BDI agent: A case study for participatory management of protected areas. *29th International Conference on Software Engineering & Knowledge Engineering (SEKE'2017)*, 527–530. <https://doi.org/10.18293/SEKE2017-153>
- Wooldridge, M. J. (2009). *An introduction to multiagent systems* (2nd ed). John Wiley & Sons.
- Yang, S.-H. (2013). *Wireless sensor networks*. Springer Berlin Heidelberg.
- Yang, S.-H., & Cao, Y. (2008). *Networked control systems and wireless sensor networks: Theories and applications*.

Yick, J., Mukherjee, B., & Ghosal, D. (2008). *Wireless sensor network survey*.



## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Medina Lagos, Joselyne Arianna**, con C.C: # 095296401-3 autor/a del trabajo de titulación: **ARQUITECTURA DE GESTIÓN MULTI-AGENTE PARA UN SISTEMA DE CONTROL DISTRIBUIDO 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, 8 de marzo del 2021

---

Nombre: **Medina Lagos, Joselyne Arianna**

C.C: **095296401-3**



## REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

### FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

<b>TEMA Y SUBTEMA:</b>	ARQUITECTURA DE GESTIÓN MULTI-AGENTE PARA UN SISTEMA DE CONTROL DISTRIBUIDO DOMÓTICO		
<b>AUTOR(ES)</b>	Medina Lagos, Joselyne Arianna		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>	M. Sc. Mendoza Merchán, Eduardo Vicente		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
<b>FACULTAD:</b>	Educación técnica para el desarrollo		
<b>CARRERA:</b>	Electrónica en control y automatismo		
<b>TÍTULO OBTENIDO:</b>	ingeniera electrónica en control y automatismo		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	8 de marzo del 2021	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	112
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Domótica, inteligencia artificial, automatización		
<b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b>	Agentes inteligentes, sistema multi-agente, sistema domótico, Redes de Petri, automatización, inteligencia artificial.		

#### RESUMEN/ABSTRACT

En la actualidad las aplicaciones de los agentes inteligentes, especialmente en el ámbito de la domótica y más entornos automatizados, contribuyen a solucionar los requerimientos del mercado actual, por lo que se busca proporcionar cada vez, nuevas alternativas y propuestas. Las investigaciones realizadas se han centrado en el análisis de dispositivos a gran escala y no se ha encontrado arquitectura de control que permitan aplicar esta tecnología en ambientes domóticos inteligentes. La presente investigación está enfocada específicamente en el campo de la automatización y domótica, utilizando herramientas que permitirán el modelado del sistema, se trata de una red de sensores inalámbricos con componentes de bajo costo, de al menos cuatro nodos que puedan interactuar entre ellos a distancias cortas (nodo de supervisión, comunicación, almacenamiento y de interfaz), con diferentes sensores y actuadores que permitan el análisis y estudio del comportamiento de los agentes de gestión en un entorno automatizado y la eficiencia de los protocolos elaborados. La arquitectura distribuida propuesta en el sistema de gestión permitió mantener la estructura domótica en correcto funcionamiento, a partir de la repartición de las tareas asignadas a cada uno de los agentes implícitos. Al contar cada agente con su propio microcontrolador (ESP8266), se facilitó el proceso de ejecución de las acciones a lo largo del desarrollo del procedimiento. Las redes de Petri contribuyeron con la esquematización concreta de las tareas que realiza cada agente y con la obtención de pruebas necesarias que arrojaron resultados positivos en cuanto a la verificación del correcto funcionamiento del sistema.

<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	<b>Teléfono:</b> +593-9-98073649	<b>E-mail:</b> <a href="mailto:joselynemedinalagos@gmail.com">joselynemedinalagos@gmail.com</a>
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::</b>	<b>Nombre:</b> Palacios Melendez, Edwin Fernando	
	<b>Teléfono:</b> +593-9-67608298	
	<b>E-mail:</b> <a href="mailto:edwin.palacios@cu.ucsg.edu.ec">edwin.palacios@cu.ucsg.edu.ec</a>	

#### SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA

<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>	
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>	
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>	