



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL
DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y
AUTOMATISMO**

TEMA:

**Estructura de comunicación multi-agente domótica de tipo
pizarra distribuida**

AUTOR:

Avalos Pérez, José César

**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

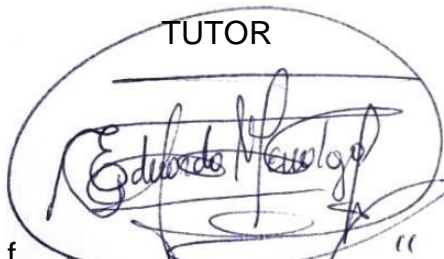


**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

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

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por el Sr. **Avalos Pérez, José César**, como requerimiento para la obtención del título de **INGENIERO ELECTRÓNICO EN CONTROL Y AUTOMATISMO**.

TUTOR


f. _____
M. Sc. Mendoza Merchán, Eduardo Vicente

DIRECTOR DE LA CARRERA

f. 

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 INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y
AUTOMATISMO**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Avalos Pérez, José César**

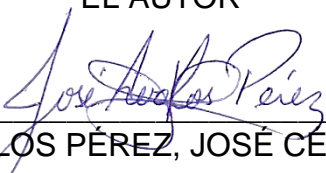
DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación **“Estructura de comunicación multi-agente domótica de tipo pizarra distribuida”** 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

EL AUTOR

f. 
AVALOS PÉREZ, JOSÉ CÉSAR



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

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

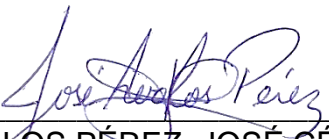
AUTORIZACIÓN

Yo, **Avalos Pérez, José César**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, “**Estructura de comunicación multi-agente domótica de tipo pizarra distribuida**”, 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

EL AUTOR:

f. 
AVALOS PÉREZ, JOSÉ CÉSAR

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

TÍTULO: “Estructura de comunicación multi-agente domótica de tipo pizarra distribuida”.

AUTOR: AVALOS PÉREZ JOSÉ CÉSAR

The screenshot displays the URKUND interface. On the left, a document summary is shown: 'Documento: 2021-02-27 Tesis José Avalos.docx (D96722938)', 'Presentado: 2021-02-27 09:27 (-05:00)', 'Presentado por: eduardo.mendoza01@cu.ucsg.edu.ec', and 'Recibido: eduardo.mendoza01.ucsg@analysis.urkund.com'. A green box highlights '0%' de estas 56 páginas, se componen de texto presente en 0 fuentes. On the right, a table lists sources with their similarity percentages and checkboxes. The table has columns for 'Categoría', 'Enlace/nombre de archivo', and a checkbox. The sources listed include 'Tesis - José Avalos.docx', 'Tesis.docx', and various other documents with percentages ranging from 70% to 100%.

Categoría	Enlace/nombre de archivo	
	Tesis - José Avalos.docx	<input type="checkbox"/>
Fuentes alternativas		
	Tesis.docx	<input type="checkbox"/>
70%	CONSIDERACIONES GENERALES 2 1...	<input type="checkbox"/>
75%	Modelo heterárquico 2.2.6.3 Modelo...	<input type="checkbox"/>
71%	Diseño de la arquitectura domótica ...	<input type="checkbox"/>
39%	Arquitectura hardware de los nodo...	<input type="checkbox"/>
99%	CONSIDERACIONES GENERALES	<input type="checkbox"/>
93%	Necesitan los agentes inteligentes ...	<input type="checkbox"/>
100%	ADDIN ZOTERO_ITEM CSL_CITATIO...	<input type="checkbox"/>
100%	Figura 2.2:	<input type="checkbox"/>
99%	Características de un sistema domó...	<input type="checkbox"/>
100%	Recepción de señales en los actual...	<input type="checkbox"/>
100%	Fuente: (Martín 2010)	<input type="checkbox"/>

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

.....
Ing. Eduardo Mendoza Merchán, Mgs

DOCENTE TUTOR

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación es dedicado a mi padres, César y Rosa por brindarme todo su amor y apoyarme en las metas que me he propuesto.

A mi hermana Julexy, por ser mi compañera de batallas y alegrías desde que éramos niños.

A mi tío Carlos, por cuidarme y ofrecerme su ayuda incondicional para verme triunfar en la vida, gracias por ser como mi segundo padre.

A mi abuelita Italia por ser lo más hermoso que Dios me ha regalado, por educarme y convertirme en una persona de bien.

José Avalos Pérez

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios todopoderoso por ser mi guía y permitirme llegar hasta estas instancias de mi vida, brindarme el conocimiento necesario para cumplir mis logros académicos y sobretodo cobijarme de su infinito amor.

A mi familia por ser mi mayor ejemplo, por inculcarme valores, brindarme su amor y apoyo incondicional durante mi vida. Gracias papá, por estar siempre a mi lado, nunca abandonarme ante nada y encaminarme a esta hermosa profesión, tener la dicha de haber realizado mis pasantías a tu lado me llenó de mucho orgullo de ver el gran profesional que eres. Gracias mamá, por ser esa persona maravillosa que me ama y que me cuida sobre todas las cosas, tus consejos me han formado como una persona de bien y estaré siempre agradecido con Dios por tenerte.

A mis profesores de la Facultad de Educación Técnica por impartirme valiosos conocimientos que me van a servir en mi vida profesional. A más de ser autoridades se comportaban como amigos que me aconsejaban para no cometer errores en el campo laboral en base a sus experiencias vividas.

A mi tutor, Ing. Eduardo Mendoza por guiarme desde el primer día de este trabajo de investigación, brindándome sus conocimientos, tiempo y apoyo incondicional para lograr cumplir la meta. Su experiencia en el área de la investigación fue una herramienta que tuve para adentrarme en este tipo de tecnologías y como utilizarlas. En fin, agradezco su amistad, consejos y siempre tendré admiración a usted por ser una excelente persona.

José Avalos Pérez



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

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

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

M. Sc. ROMERO PAZ, MANUEL DE JESUS
DECANO

f. _____

M. Sc. PALACIOS MELÉNDEZ, EDWIN FERNANDO

COORDINADOR DEL ÁREA

f. _____

M. Sc. CÓRDOVA RIVADENEIRA, LUIS SILVIO
OPONENTE

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XV
RESUMEN.....	XVI
ABSTRACT	XVII
INTRODUCCIÓN.....	2
Capítulo 1 : CONSIDERACIONES GENERALES	4
1.1. Planteamiento del problema	4
1.2. Justificación.....	5
1.3. Delimitación.....	6
1.4. Objetivos	6
1.4.1. Objetivo general	6
1.4.2. Objetivos específicos.....	6
1.5. Metodología de la investigación.....	7
1.6. Tareas de investigación	7
Capítulo 2 : MARCO TEÓRICO	9
2.1. Estado del arte	9
2.2. Sistemas domóticos	13
2.2.1. Áreas de aplicación de un sistema domótico	14
2.2.2. Integración con otros servicios del hogar.....	16
2.2.4. Características de un sistema domótico	17
2.2.5. Elementos que conforman una instalación domótica	18
2.2.5.1. Sensor	18
2.2.5.2. Actuador	18
2.3. Agentes inteligentes	19
2.3.1. Bucle de funcionamiento de un agente inteligente.....	20
2.3.2. Protocolos de interacción entre agentes.....	20
2.3.2.1. Cooperación	20
2.3.2.2. Negociación.....	21
2.3.3. Agente BDI	21
2.3.4. Sistemas multi-agentes (SMA)	23
2.3.5. Comunicación y coordinación entre agentes inteligentes	23
2.3.6. Sistemas de mensajes	24
2.3.7. Sistemas de pizarra (del inglés Blackboard).....	24

2.4. Redes de sensores inalámbricos (WSN)	26
2.4.1. Características de las WSN.....	26
2.4.2. Arquitectura del WSN	27
2.4.3. Nodos sensores	29
2.4.3.1. Sensores	29
2.4.3.2. Comunicaciones inalámbricas	30
2.4.3.3. Procesador	30
2.4.3.4. Memoria	30
2.4.3.5. Fuente de energía	31
2.4.4. Puerta de enlace	31
2.4.5. Estación base.....	31
2.4.6. Protocolos de transmisión de datos.....	31
2.4.6.1. Bluetooth	31
2.4.6.2. ZigBee	32
2.4.6.3. Wi-Fi.....	32
2.5. Lenguaje unificado de modelado (UML)	33
2.5.1. Vista general del UML	34
2.5.2. Diagramas de UML	35
2.5.2.1. Diagrama de casos de uso	35
2.5.2.2. Diagrama de secuencias	37
2.5.2.3. Diagrama de estados.....	38
2.5.2.4. Diagrama de actividades	38
2.6. Modelos de automatización	39
2.6.1. Modelo jerárquico.....	39
2.6.1.2. Características del modelo jerárquico	40
2.6.2. Modelo heterárquico.....	40
2.6.2.1. Características del modelo heterárquico.....	41
2.6.3. Modelo híbrido.....	42
2.7. Redes de Petri (RdP).....	42
2.7.1. Lugares de entrada y salida	44
2.7.2. Tipos de nodos de las RdP.....	44
2.7.3. RdP ordinarias y generalizadas	45
2.7.4. Disparo de transición.....	46
2.7.5. Propiedades de las RdP.....	48
2.7.5.1. Propiedades dinámicas	48

2.7.5.2. Propiedades estáticas	48
Capítulo 3 : DISEÑO Y MODELADO DE LA ESTRUCTURA TIPO PIZARRA PARA AGENTES INTELIGENTES	50
3.1. Consideraciones iniciales del diseño	50
3.1.1. Descripción del sistema.....	50
3.1.2. Características del sistema.....	53
3.1.3. Funciones del sistema.....	55
3.2. Diseño de la arquitectura domótica.....	56
3.2.1. Definición de la arquitectura de control domótico	57
3.2.2. Arquitectura hardware del subsistema de almacenamiento	60
3.2.3. Arquitectura hardware de los subsistemas de control	61
3.2.4. Arquitectura hardware del nodo sensor/actuador	62
3.3. Diseño de la arquitectura multi-agente	63
3.4. Diseño de la arquitectura pizarra distribuida	65
3.5. Modelado UML de arquitectura pizarra distribuida.....	68
3.5.1. Diagrama de casos de uso	68
3.5.2. Diagrama de secuencias	70
3.5.3. Diagrama de estados	72
3.6. Diseño de RdP de la arquitectura pizarra distribuida	74
3.6.1. Matrices de RdP de la arquitectura pizarra distribuida.....	76
3.7. Implementación del sistema de comunicación de pizarra distribuida .	78
3.7.1. Agente de almacenamiento.....	79
3.7.1.1. Conexiones del agente de almacenamiento	80
3.7.1.2. Implementación física del agente de almacenamiento	82
3.7.2. Agentes de control	82
3.7.2.1. Conexiones generales de los agentes de control.....	85
3.7.2.2. Implementación física de los agentes de control.....	87
3.7.3. Sistema completo.....	90
3.8. Pruebas de experimentación del sistema de comunicación de pizarra distribuida.....	90
Capítulo 4 : PRESENTACIÓN DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	96
4.1. Presentación de resultados	96
4.1.1. Resultados de estado del arte	96
4.1.2. Resultados de las arquitecturas	97
4.1.3. Resultados del modelado UML y RdP	98
4.1.4. Resultados de la implementación	98

4.1.5. Resultados de pruebas experimentales.....	99
4.2. Discusión de resultados.....	99
4.2.1. Discusión del cumplimiento de los requisitos funcionales	99
4.2.2. Cumplimiento de objetivos.....	100
4.2.3. Solución al problema de investigación.....	101
4.2.4. Aporte de la arquitectura pizarra propuesta	102
Capítulo 5 : CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	104
5.1. Conclusiones	104
5.2. Recomendaciones	105
5.3. Trabajo futuro	106
Bibliografía	107

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 2

Figura 2.1: Esquema general de una vivienda domótica.....	15
Figura 2.2: Interconexión de los servicios de una vivienda a través de pasarela residencial.....	16
Figura 2.3: Envío de señales de los sensores del sistema domótico	18
Figura 2.4: Recepción de señales en los actuadores desde el sistema domótico.....	19
Figura 2.5: Interacción básica entre un agente inteligente y su entorno.....	19
Figura 2.6: Bucle de funcionamiento de un agente inteligente	20
Figura 2.7: Arquitectura básica BDI	22
Figura 2.8: Estructura básica de un SMA.....	23
Figura 2.9: Comunicación y cooperación en SMA	24
Figura 2.10: Principio de la transmisión de un mensaje	24
Figura 2.11: Comunicación a través del sistema de pizarra	25
Figura 2.12: Estructura extendida de la pizarra.....	26
Figura 2.13: Red inalámbrica de sensores.....	27
Figura 2.14: Nodos de sensores dispersos en un campo de sensores	28
Figura 2.15: Arquitectura y componentes WirelessHART	28
Figura 2.16: Arquitectura del nodo sensor	29
Figura 2.17: Vista general de los elementos de UML.....	35
Figura 2.18: Ejemplo de un diagrama de casos de usos.....	36
Figura 2.19: Ejemplo de un diagrama de secuencias.....	37
Figura 2.20: Ejemplo de un diagrama de estados	38
Figura 2.21: Diagrama de actividades.....	39
Figura 2.22: Ejemplo de modelo jerárquico.....	40
Figura 2.23: Ejemplo de modelo heterárquico.....	41
Figura 2.24: Ejemplo de modelo híbrido	42
Figura 2.25: Componentes que conforman una RdP	43
Figura 2.26: Ejemplo de una RdP	43
Figura 2.27: Entrada y salida de una RdP	44
Figura 2.28: Tipos de nodos de las RdP	45
Figura 2.29: Ejemplo de una RdP generalizada.....	45
Figura 2.30: Ejemplo de representación química de la molécula del agua a través de RdP.....	47
Figura 2.31: Ejemplos de casos de disparo de una transición	47

Capítulo 3

Figura 3.1: Esquema de interacción del sistema.....	52
Figura 3.2: Diagrama de flujo sobre la descripción del sistema	53
Figura 3.3: Estructura de comunicación domótica de tipo pizarra distribuida	57
Figura 3.4: Arquitectura de control del sistema domótico.....	59

Figura 3.5: Arquitectura de control tipo pizarra	60
Figura 3.6: Arquitectura hardware del subsistema de almacenamiento	61
Figura 3.7: Arquitectura hardware de los subsistemas de control	61
Figura 3.8: Arquitectura hardware del nodo sensor/actuador	63
Figura 3.9: Arquitectura multi-agente del sistema planteado.....	64
Figura 3.10: Arquitectura pizarra distribuida	67
Figura 3.11: Diagrama de casos de uso de la arquitectura pizarra distribuida	70
Figura 3.12: Diagrama de secuencias de la arquitectura pizarra distribuida	71
Figura 3.13: Diagrama de estados de la arquitectura pizarra distribuida.....	73
Figura 3.14: RdP de arquitectura pizarra distribuida simulado en VisObjNet	74
Figura 3.15: Resultados de la matriz de inhibición H	76
Figura 3.16: Resultados de la matriz de marcado	77
Figura 3.17: Resultados de las transiciones habilitadas.....	77
Figura 3.18: Resultados del análisis de propiedades estructurales del programa PIPE	78
Figura 3.19: Diagrama de flujo de funcionamiento del agente de almacenamiento	79
Figura 3.20: Diagrama esquemático de conexiones del agente de almacenamiento	81
Figura 3.21: Implementación física del agente de almacenamiento	82
Figura 3.22: Diagrama de flujo de funcionamiento de los agentes de control	83
Figura 3.23: Diagrama de flujo de funcionamiento de los pseudo-agentes ..	84
Figura 3.24: Diagrama esquemático de conexiones de los agentes de control	85
Figura 3.25: Diagrama esquemático de conexiones de los pseudo-agentes	86
Figura 3.26: Implementación física del agente de ahorro energético	88
Figura 3.27: Implementación física del agente de control	89
Figura 3.28: Implementación física del agente de seguridad personal	89
Figura 3.29: Implementación física del sistema completo	90
Figura 3.30: Resultados de la pérdida de paquetes de datos entre los agentes de control y el agente de almacenamiento	92
Figura 3.31: Resultados de la pérdida de paquetes de datos entre los pseudo-agentes y los agentes de control.....	93

ÍNDICE DE TABLAS

Capítulo 2

Tabla 2.1: Topologías de red	17
------------------------------------	----

Capítulo 3

Tabla 3.1: Funciones y tareas de los actores del subsistema de control	62
Tabla 3.2: Conversión de un subsistema a un agente inteligente	64
Tabla 3.3: Sensores y actuadores de los agentes inteligentes.....	65
Tabla 3.4: Conexiones del agente de almacenamiento.....	81
Tabla 3.5: Conexiones de los agentes de control	86
Tabla 3.6: Conexiones de los pseudo-agentes	87
Tabla 3.7: Pérdida de paquetes de datos entre el agente de almacenamiento y los de control	91
Tabla 3.8: Pérdida de paquetes de datos entre los agentes de control y sus pseudo-agentes	93

RESUMEN

Los sistemas multi-agentes en la actualidad son utilizados de forma eficiente en la solución a los actuales desafíos de la automatización distribuida inteligente. Debido a esto, el presente trabajo de investigación tiene como objetivo proponer una arquitectura para la comunicación tipo pizarra distribuida entre el área de gestión y de control de un sistema domótico inteligente distribuido, que mejore las comunicaciones y acciones de control entre los diferentes dispositivos que interactúan en él, para lo cual se apoya en tecnologías basadas en microcontroladores de 32 bits de bajo costo para las pruebas experimentales. La proyección, diseño y modelado ha sido asistida con los diagramas de casos de uso, secuencias y estados pertenecientes al Lenguaje Unificado de Modelado (UML) lo que permitió tener una mejor perspectiva del funcionamiento de la arquitectura propuesta, en base a esto se procedió a realizar el modelado y simulación con redes de Petri (RdP) para determinar a través de sus propiedades, la funcionalidad del sistema. Mediante la implementación y pruebas experimentales se corroboró que la comunicación entre el agente de gestión, agentes de control y pseudo-agentes es eficiente, estable y de gran cobertura para una vivienda unifamiliar. Finalmente, en base a los resultados obtenidos, se considera que la propuesta es viable y de gran beneficio para usuarios de recursos limitados que deseen acceder a un sistema domótico.

Palabras Claves: INTELIGENCIA ARTIFICIAL DISTRIBUIDA, AGENTES INTELIGENTES, RED DE SENSORES INALÁMBRICOS, DOMÓTICA, SISTEMAS DE PIZARRA DISTRIBUIDA, REDES DE PETRI, MODELADO UML.

ABSTRACT

Nowadays the multi-agents system are efficient tools to contribute solutions to the actual challenges of the smart distributed automation.

For this reason, the current investigation job has as objective propose an architecture blackboard type for communication between the management area and automated smart distributed system control, that allows improve the communications between the different devices that interact in it, for this reason it relies on microcontrollers of 32 bits low cost to the experimentals tests. The projection, design and modeling have been assisted with the use causes diagram, consequences and state belonging to the unified modeling language (UML), that allowed to have a better view of the architecture propose operation, based on this it proceeded to do the Petri Networks Modeling to realize through is properties, the system functionality. By the implementation and experimentation and experimental tests it proved that the communication between the management agent, the control agents and pseudo-agents is efficient, stable and of great coverage for a single-family home

Finally, based on the results obtained, it is considered that the propose is viable with big benefits for low resources users who want to access to a domotic system.

Key words: DISTRIBUTED ARTIFICIAL INTELLIGENCE, SMART AGENTS, WIRELESS SENSORS NETWORK, DOMOTIC SYSTEM, DISTRIBUTED BLACKBOARD, PETRI NETWORKS, UML MODELLING.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años el avance de la ciencia y tecnología ha facilitado realizar actividades de forma rápida y segura. La inteligencia artificial distribuida es considerada la más eficiente para los sistemas de automatización tanto domóticos como industriales, con la llegada de los agentes inteligentes es evidente la necesidad de crear redes de sensores inalámbricos (WSN) que fortalezcan el uso de estos dispositivos.

La domótica constituye un conjunto de tecnologías que permite transformar una vivienda convencional a un nivel automatizado cuya finalidad es informar cada acontecimiento que sucede en el ambiente y poder dar una respuesta rápida ya sea de forma presencial o remota facilitando la comodidad de los usuarios, o en muchos casos, tomar decisiones en función de los parámetros predeterminados. Las pruebas experimentales del diseño de la estructura de comunicación multi-agente domótica de tipo pizarra distribuida, serán realizadas en una red inalámbrica basada en módulos Wi-Fi de 32 bits, que albergan a cada uno de los agentes inteligentes. Estos microcontroladores de 32 bits y bajo costo, disponen internamente de muy buenos recursos de velocidad de procesamiento, memoria y comunicación, para soportar los requerimientos de un sistema multi-agente y son una excelente opción para las familias de recursos limitados que desean acceder a este tipo de tecnologías. Además, se dispone a utilizar una arquitectura de tipo jerárquica para el diseño de la red puesto que el agente de almacenamiento figura como el “maestro” quien es el encargado de solicitar y gestionar la información emitida por parte de los agentes “esclavos”. Los agentes inteligentes son de gran aporte para el desarrollo de este sistema gracias a que poseen cualidades como autonomía en realizar acciones, capacidad de sociabilidad entre ellos y ejecutar toma de decisiones de forma inmediata.

La propuesta de este proyecto de investigación se centra en desarrollar un sistema de comunicación tipo pizarra distribuida que permita gestionar las comunicaciones y tareas de control entre un sistema de almacenamiento de información y los demás actores tales como agentes inteligentes y nodos

sensores/actuadores. Definitivamente este aporte es de gran valor académico porque abarca temas de gran avance tecnológico que fueron adaptados al área domótica. La falta de información de este tipo de arquitectura con microcontroladores de bajo costo da realce a que el tema propuesto es de gran ayuda para automatizar una vivienda con agentes inteligentes.

Capítulo 1 : CONSIDERACIONES GENERALES

En este acápite se elaboran los componentes formales del trabajo de investigación que son base para iniciar de forma sistemática y lograr el rigor científico y académico en el trabajo de titulación. Se inicia con el planteamiento del problema, junto a su respectiva justificación que permite dar bases sólidas al tema seleccionado. Por otro lado, se redactará la delimitación que va a fijar el alcance del desarrollo y se incluirán los objetivos que van a ser fundamentales a cumplir al desarrollar el tema. Para concluir, se fijará la metodología y tareas de investigación que serán los métodos para utilizar para adquirir la información de soporte.

1.1. Planteamiento del problema

Los sistemas multi-agentes son una herramienta idónea para el diseño de sistemas domóticos inteligentes basados en inteligencia distribuida. (Segura, 2020). En la actualidad la tecnología avanza de forma acelerada y conduce que la ingeniería electrónica y automatización se vea en la necesidad de implementar nuevas metodologías y herramientas que faciliten el diseño de sistemas domóticos cada vez más complejos, debido principalmente a necesidades del usuario y nuevos desafíos planteados desde diferentes aristas (Spagnuolo, 2016). Los agentes inteligentes basados en microcontroladores ofrecen soluciones hardware y software muy apropiadas para los requerimientos de sistemas de eventos discretos (Plaza et al., 2016), tal como lo es un sistema domótico u otros sistemas similares. Pero la comunicación entre agentes inteligentes hardware aún no se ha resuelto (Qin et al., 2016), aunque se proponen muchas arquitecturas y protocolos de comunicación orientados a solucionarlos, no se ajustan a los requerimientos propios de un sistema multi-agente. La comunicación entre agentes inteligentes hardware difiere mucho de los agentes software, debido a que los escenarios son muy diferentes. La fundamentación teórica de sistemas multi-agentes puede servir como base para comunicación entre los agentes hardware, pero hay que definir arquitecturas propias para este tipo de agentes basados en microcontroladores, las cuales, que no se ha encontrado en la literatura científica. Los problemas y conflictos que se generan entre agentes

inteligentes basadas en plataformas hardware impiden que puedan comunicarse adecuadamente entre ellos y poder realizar acciones fundamentales como es compartir, colaborar e interactuar. En base al análisis realizado en líneas anteriores, se propone el siguiente problema de investigación:

¿Necesitan los agentes inteligentes hardware un sistema de comunicación que los ayude a mejorar el envío recepción de los mensajes entre ellos?

1.2. Justificación

En la ingeniería los sistemas multi-agentes son considerados cada vez más como una opción eficiente y segura para brindar soluciones de automatización de sistemas distribuidos (Buitrago & Sánchez, 2017). El área en el que se orienta este trabajo de titulación será la domótica debido a que la tecnología avanza cada día y se convierte más común ver que los hogares se vuelvan tecnológicos.

Este estudio se enfoca principalmente en la utilización de microcontroladores de 32 bits que servirán como agentes inteligentes comunicados entre sí por medio de una pizarra distribuida. No existen suficientes estudios científicos ni experimentales que utilicen este elemento como fundamental para la conexión de los dispositivos. La limitación estará dada por el número de agentes que se va a implementar en este proyecto y la capacidad que tienen los microcontroladores.

El desarrollo de un diseño basado en sistemas multi-agentes tipo pizarra distribuida para su posterior estudio con los resultados obtenidos de las pruebas realizadas genera contenidos de un muy alto valor académico y práctico, que permite incorporar nuevas arquitecturas que mejoren la comunicación entre dispositivos. Así pues, no es considerado un tema común entre las personas ni tampoco dentro de las asignaturas de la universidad. Su complejidad al momento de desarrollar este tipo de diseños provoca que conlleve un vasto proceso de investigación para recopilar toda información

necesaria que demuestra las grandes aplicaciones en las que son posibles utilizar estos dispositivos de comunicación.

1.3. Delimitación

Se realizará una propuesta de estructura de comunicación tipo pizarra, cuyo modelado y simulación se realizará a través de herramientas matemáticas y de simulación, para determinar el cumplimiento de los requisitos funciones y las propiedades del sistema. Finalmente, para corroborar los datos obtenidos en el modelado y la simulación, se realizará la implementación del sistema en microcontroladores de 32 bits, a fin de realizar diferentes pruebas para verificar el cumplimiento de las funciones del sistema y definir las métricas de comparación.

1.4. Objetivos

Los objetivos que guiarán la presente investigación se muestran en las siguientes líneas:

1.4.1. Objetivo general

Analizar una arquitectura para comunicación multi-agente tipo pizarra distribuida aplicado a un sistema domótico inteligente, implementado con microcontroladores de 32 bits.

1.4.2. Objetivos específicos

- Proponer una arquitectura de comunicación multi-agente tipo pizarra distribuida aplicable a sistemas basados en microcontroladores.
- Modelar el sistema de comunicación domótica tipo pizarra distribuida utilizando UML y Redes de Petri.
- Evaluar el comportamiento del sistema de comunicación entre los agentes inteligentes por medio de una plataforma hardware basada en microcontroladores de 32 bits.

1.5. Metodología de la investigación

El trabajo estará enmarcado dentro de la modalidad de investigación de tipo correlacional que es un tipo de método de investigación experimental en el cual el investigador mide dos variables, entiende y evalúa la relación entre ellas sin influencia de ninguna variable extraña.

El enfoque del estudio es cuantitativo debido a que implica el uso de herramientas informáticas, estadísticas, y matemáticas para evaluar los resultados experimentales.

Además, se realizará el estudio de investigación bibliográfica - documental debido a que los temas fueron consultados de la documentación existente: estudios, especificaciones técnicas, perfiles del proyecto, informes y de simulación para entender los antecedentes del sistema y compararlo con otros sistemas existentes ya usados actualmente y se reforzará con investigaciones de internet.

Asimismo, se ejecutará trabajo experimental y de simulación en el programa Visual Object Net, que permite observar la correcta comunicación entre los agentes inteligentes y en general el cumplimiento adecuado de las propiedades de sistemas y sus funciones.

1.6. Tareas de investigación

Con respecto a la metodología elegida para el desarrollo del tema del trabajo de titulación, se plantean las siguientes tareas de investigación:

- Adquirir información en diferentes fuentes bibliográficas que den soporte al tema de investigación ya sean artículos científicos, revistas de tecnología, libros actualizados, tesis e investigaciones desarrolladas por institutos de inteligencia artificial.
- Establecer la cantidad de agentes inteligentes que se van a utilizar en el proyecto, asimismo el tipo de sensores y microcontroladores que serán utilizados en el sistema físico
- Diseñar Hardware del sistema a implementar.

- Programación de los agentes con la pizarra siguiendo los protocolos de comunicación existentes.
- Desarrollo de la simulación en el programa Visual Object Net previo a la implementación física.
- Pruebas de correcto funcionamiento de comunicación entre los agentes implementados en la maqueta.
- Pruebas de comunicación y funcionamiento del sistema entre el software y los elementos implementados en físico para la obtención de datos.
- Corrección de fallos que se presenten al momento de desarrollar la maqueta para trabajos futuros.
- Estudio, análisis y discusión de los resultados obtenidos en las pruebas de comunicación de datos entre los agentes por medio de la pizarra distribuida.

Capítulo 2 : MARCO TEÓRICO

En este capítulo se realiza una revisión de los fundamentos y aportes en torno al tema investigado, que sirven como base para el diseño y desarrollo de la investigación fin de determinar la situación actual en la que se encuentra, especialmente los avances y los desafíos en torno a la comunicación tipo pizarra distribuida en los sistemas multi-agentes.

2.1. Estado del arte

En los siguientes párrafos se elabora el estado del arte orientado a la comunicación multi-agente, especialmente a aquellas relacionadas con el tipo pizarra distribuida. Además, se analizan cuestiones fundamentales de sus características, aportes importantes en este tema y los desafíos que actualmente son parte del entorno de los sistemas multi-agentes.

En el artículo de (Dong & Hu, 2017) analizan las dificultades del seguimiento de formaciones que varían en el tiempo para sistemas lineales de multi-agentes con múltiples líderes, en el cual los estados de los seguidores establecen una formación predeterminada que se altera en el tiempo durante se busca la conexión convexa de los estados de múltiples líderes. Cabe recalcar que los seguidores se clasifican en bien informados los cuales abarcan a todos los líderes y por otro lado los desinformados quienes no contienen a ninguno de los antes mencionados. Principalmente los autores sugieren que un protocolo de seguimiento de la formación se debe construir empleando únicamente información relativa inmediata. Así pues, proponen las condiciones precisas e idóneas utilizando las propiedades de la matriz Laplaciana para que se logre un correcto seguimiento. Adicionalmente se fundamentan en una ecuación algebraica de Riccati. Finalmente, los resultados alcanzados pueden ser adoptados para resolver varios tipos de problemas como de seguimiento de formaciones que varían en el tiempo, encierro de objetivos y seguimiento de consenso para sistemas lineales de múltiples agentes con uno o varios objetivos / líderes.

Según (Laclaustra & Alonso, 2016) en su estudio desarrolló un sistema domótico distribuido para controlar el riego y el aire acondicionado en el hogar. Dado el alto costo que se incurre principalmente en el uso del agua y el posible consumo innecesario de energía eléctrica, es por ello que gracias al desarrollo tecnológico del internet de las cosas (del inglés; Internet of Things, IoT) es posible conectarse a los sistemas electrónicos de forma rápida y eficiente. Además, las aplicaciones móviles facilitan que se pueda controlar a distancia diferentes equipos del hogar por medio de comunicación inalámbrica. Finalmente, el mecanismo goza de gran éxito puesto que permite programar un sistema de riego automático de acuerdo al grado de humedad y en cuanto al control de aire acondicionado un encendido y apagado conforma a la temperatura existente.

Los autores (Battolla et al., 2018) en su artículo, estudian la pérdida de tiempo que tienen los conductores al momento de encontrarse en una congestión vehicular por motivo de los semáforos programados de manera inadecuada en las intersecciones. El incremento de los vehículos produce que sea más complicado transitar debido a que los dispositivos de control del tráfico son configurados con tiempo fijo para realizar el respectivo cambio de luz. Los autores diseñan un algoritmo con la finalidad de poder dar una solución a este problema basándose en un entorno de simulación en NetLogo, dando como resultado poder estudiar el control del cambio de luces en dichos lugares. Además, se pudo realizar una comparativa entre los semáforos de tiempos fijos con otros que presentan inteligencia mediante agentes inteligentes. En definitiva, se obtuvieron datos importantes reflejando un descenso máximo del 45% en cada tiempo de cambio luces.

En el trabajo de (Canedo et al., 2019), considera que la utilización de la comunicación multi-agentes que intercambian datos por medio de un sistema denominado Blackboard, permite una correcta y transparente interacción entre ellos. Asimismo, los autores enfocan su modelo en el desarrollo tecnológico de una universidad digital que le permita brindar un mejor servicio al momento de atender los requerimientos que se les solicite de forma rápida, eficiente y optimizada. Por otro parte, esta tecnología también

favorece a los estudiantes por el motivo que se les convierte una tarea sencilla desarrollar sus propios regímenes de estudio en el tiempo que ellos así lo decidan. Además, gracias a la implementación de este sistema comunicación tipo pizarra resulta una tarea sencilla incorporar servicios adicionales sin alterar el modelo ya establecido por la institución. En definitiva, los modelos mencionados pueden ser nuevamente modelados y posterior simulados para visualizar su funcionamiento antes de ser aplicados.

Según (López, 2018) la dificultad que se presentan al momento de utilizar una silla de ruedas y realizar sus tareas cotidianas, pueden ser superadas o reducidas a través de un sistema de control inteligente adaptados a sus sillas de ruedas a través de técnicas de inteligencia artificial mediante la información obtenida de las redes de sensores para realizar la automatización y análisis de los mismos. Para ello es necesario contar con una arquitectura de rápida respuesta que anticipe al usuario de diferentes escenarios de peligro utilizando un método de simulación social basada en agentes y las representaciones tridimensionales lo cual permite ejecutar modelos y aproximaciones lo más cercano a la realidad. Finalmente, el proceso de simulación del sistema se complementa con una arquitectura multi-agente que se basa en un modelo de organizaciones virtuales.

En el estudio de (Desai & Hattori, 2016), muestra la importancia de contar con sistemas de protección a las personas y en este caso en especial a los adultos mayores quienes son más propensos a presentar una serie de dificultades al realizar sus actividades diarias de forma autónoma, es por ello que plantea como solución el uso de IoT mediante un sistema de casa inteligente, es común escuchar sobre automatización de la iluminación o calefacción en el hogar pero es de gran importancia contar con asistencia mucho más personalizada a los adultos mayores la propuesta incluye un sistema de casa inteligente que permita rastrear rutinas, medicamentos, detección de caídas, informe periódico de salud, control del stock de medicina y un marcador de contacto de emergencia el cual emita alertas a los familiares. El uso del sistema multi-agente es esencial para lograr este objetivo, la idea se desarrolla en utilizar sensores económicos que fortalezcan el autocuidado

la cual consiste básicamente en que los sensores sean los responsables de la recopilación y procesamiento de datos junto con las organizaciones virtuales.

En el estudio realizado por (Patiño, 2019) se centra en las dificultades de atención médica en personas con enfermedades permanentes, las cuales necesitan ser atendidas de forma regular, realizar estudios y frecuentes análisis en laboratorios, ciertamente, uno de los factores principales es que en centros de salud existe carencia de profesionales en enfermedades crónicas. Por tal motivo el autor efectúa un modelo de inteligencia ambiental apoyado en ontologías que a su vez están correlacionados con los sensores inalámbricos y agentes de software inteligentes, en efecto es un sistema que contiene un nexo humano computador donde su objetivo principal es que el usuario obtenga avisos, agendas con sugerencias saludables y completamente personificadas, proporcionando consejos para obtener mejoras en su salud. Finalmente, este sistema se aplica a dos personas con enfermedades crónicas donde demuestran su efectividad con niveles regulares en su proceso médico, gracias a la funcionalidad de los multi-agentes implementados y el WSN en la inteligencia ambiental planteado.

En el trabajo realizado por (Mendoza et al., 2020), se analiza la implementación de una red de sensores inalámbricos para sistemas multi-agentes, enfocada a los sistemas domóticos inteligentes, para lo cual se basan en microcontroladores de 32 bits y adicional se propone la utilización de módulos de comunicación inalámbrica a bajo costo con la finalidad de abarcar gran cobertura entre los dispositivos. Para evaluar el desempeño de la red se consideran los siguientes aspectos: tiempos de respuesta de la red, adaptabilidad ante posibles cambios de disposición de nodos sensores, precisión y escalabilidad. Finalmente, el estudio experimental resulto ser satisfactorio con una adaptación del protocolo de enrutamiento multisalto Ad-Hoc On-Demand Vector (AODV) lo cual permite cumplir con gran cobertura de red WSN para una vivienda unifamiliar considerando una velocidad de transmisión de 250kps garantizando la seguridad de los datos.

De acuerdo a (Järvi et al., 2018) los ecosistemas del conocimiento constituyen una dinámica en la cual múltiples usuarios actúan de forma conjunta para la búsqueda de conocimiento común. En sí, el tema presenta varias aristas en cuanto a naturaleza y objetivos. Además, recalcan que tener una meta clara y sentido de dirección permite a los colaboradores mantener el enfoque propuesto. En síntesis, la cooperación juega un rol fundamental en todo tipo de organización dado que potencializa el conocimiento y viabiliza el cumplimiento de objetivos, básicamente los actores aportan con sus propios recursos al sistema y a la vez pueden acceder a información proporcionada por otros, intercambiando ideas y solventar cualquier tipo de problema que pueda surgir. En definitiva, un sistema con múltiples usuarios es esencial la participación en equipo y coordinación.

De acuerdo a la investigación realizada por (Zhu et al., 2018) da a conocer la dificultad que existe al momento de detectar fallas en un determinado sistema, generalmente ocurre por transiciones no observables que no forman parte de un modelo de red nominal. Este estudio está sujeto a una red de Petri denominada red nominal, que se conoce como la solución de conflictos o fallas, se basa únicamente en transiciones continuas detectando espacios observables. Por esa razón, los autores realizan un aporte orientado a la detección de transiciones no observables con solución a un problema de programación lineal entera (ILP) con respecto a la red nominal. Ciertamente, señalan la existencia de dos tipos de falla donde el de transición nos indica si las fichas no se eliminan en las entradas o así mismo no se deposita ninguno en la salida puede ocasionar un fallo, aunque su transición se haya disparado. Por otro lado, un fallo de lugar expresa una falta o exceso del número de piezas el cual ocasiona un alto nivel de transición en base a niveles normales. Finalmente, establecen que las fallas pueden ser identificadas implantando redundancia en el modelo de red de estudio, obteniendo como resultado la solución.

2.2. Sistemas domóticos

La domótica es una técnica que tiene relación directa con la automatización debido al contacto que existe entre el usuario y el sistema, a

su vez se convierte en algo pertinente para una edificación porque aporta servicios eficientes de seguridad y confort. (Cedom, 2020) Su primordial función se basa en recopilar información que procede de sensores, procesa y finalmente ejecuta tareas que el usuario puede realizar con diferentes órdenes. Ciertamente, con este sistema se implantan nuevas tendencias en la vida del ser humano el cual facilita el mando de los elementos del hogar para lograr así edificaciones multifuncionales a base de comandos. Al pasar de los años, la domótica ha evolucionado de forma oportuna brindando ofertas más apuntadas a la atracción del cliente por sus innovadores sistemas, facilidad de instalación y uso. De la misma forma sus funcionalidades aportan interés debido al avance tecnológico que permite una mejor calidad de vida y es manejable por cualquier usuario. Cabe recalcar que existe una relación importante entre el sistema domótico y la red de energía eléctrica el cual sistematiza las redes respectivas y su instalación está regulada por el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT) aunque existe la particularidad en la red de control domótico que está regulada por la instrucción ITC-BT-51.

2.2.1. Áreas de aplicación de un sistema domótico

La domótica se convierte en una opción muy utilizada por las personas para implementar un ambiente tecnológico dentro de sus hogares. Esta tecnología va adquiriendo fuerza debido a que diferentes compañías desarrolla dispositivos que se encargan de cuidar y controlar todas las secciones de la casa de forma sencilla, rápida y segura tal como se muestra en la figura 2.1. Según (Cedom, 2020) especifica que esta división de la automatización aporta a mejorar la rutina diaria del usuario de las siguientes modalidades:

- **Ahorro energético:** a través de los sistemas domóticos se gestiona de manera inteligente la iluminación, climatización, sistema de riego, entre otros. Lo cual permite utilizar de mejor manera los recursos naturales logrando reducir el consumo eléctrico. Asimismo, por medio de seguimiento de consumos históricos se recaba información que permite cambiar hábitos y de esta forma añadir un mayor ahorro y eficiencia de la energía.

- **Accesibilidad:** esta propiedad favorece a las personas que poseen una discapacidad que les impide realizar sus actividades cotidianas de forma normal, para esto se facilita el control de los elementos y otros servicios como la tele-asistencia para el usuario que lo requiera.
- **Seguridad:** a través de sistemas de monitoreo como el control de intrusos, simulación de presencia, alarmas personales, cámaras de vigilancia con conexión al dispositivo móvil, alarmas técnicas que facilitan la detección de fugas de gas, incendios, inundaciones, fallas en el sistema eléctrico por sobrecargas, entre otros.
- **Confort:** mayor eficiencia en los diversos dispositivos dentro del hogar, generando beneficios al realizar tareas domésticas. Por medio de la automatización el usuario puede tener control absoluto de las luminarias, abrir y cerrar puertas, cortinas o persianas de forma inalámbrica. Asimismo, encender o apagar equipos electrónicos de ventilación, climatización, para evitar el consumo excesivo de recursos.
- **Comunicaciones:** controlar y supervisar la vivienda es posible mediante dispositivos móviles o fijos enlazados a una red de Internet, Lo cual brinda al usuario múltiples beneficios como recibir alertas sobre eventualidades.

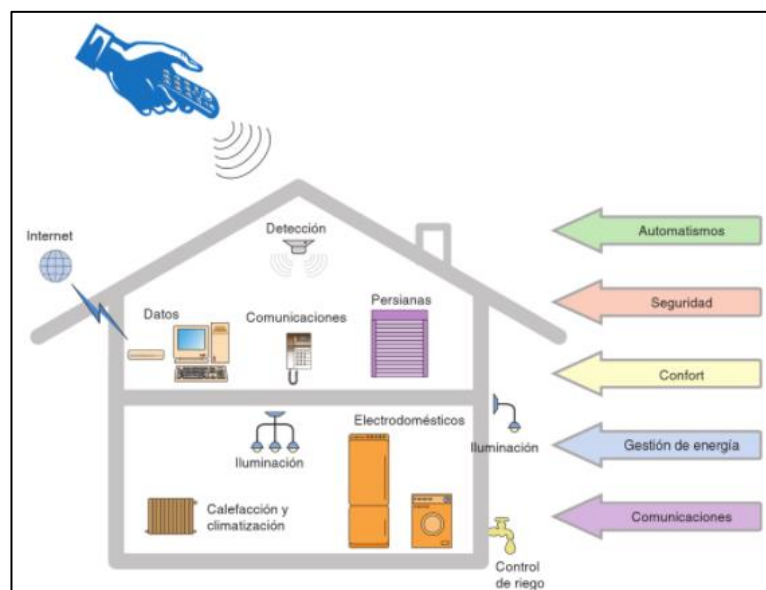


Figura 2.1: Esquema general de una vivienda domótica

Fuente: (Martín, 2010)

2.2.2. Integración con otros servicios del hogar

Según (Martín, 2010) en su investigación declara que es imprescindible que la red domótica sea incorporada en la instalación eléctrica de la casa así como también a otros servicios como redes de datos, seguridad y multimedia, tal como se muestra en la figura 2.2. Los servicios mencionados tienen la habilidad de moverse de manera autónoma, pero al acoplarse con las instalaciones domóticas las faculta para optimizar su gestión y funcionamiento. Por otra parte, es necesario conocer el concepto de pasarela residencial la cual es conformada por uno o más dispositivos con la finalidad de conectar las redes de comunicación del hogar con el exterior mediante banda ancha.

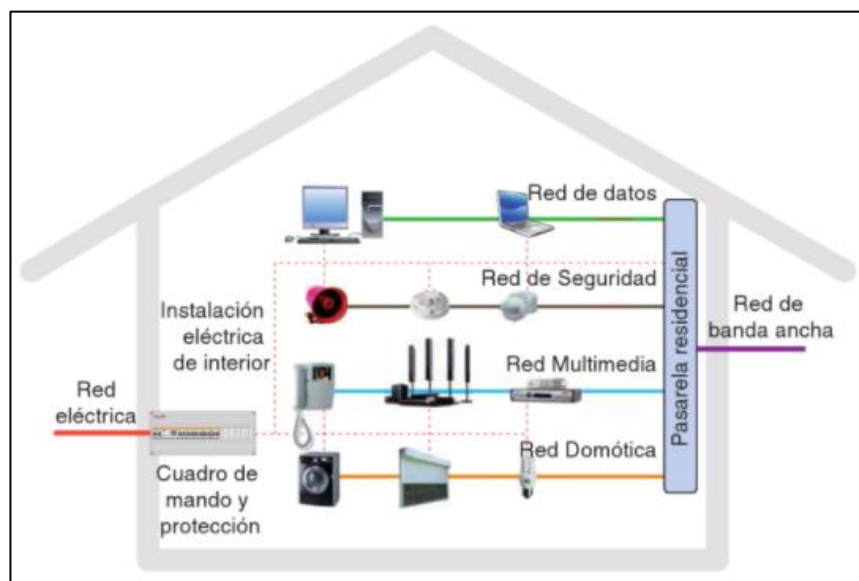


Figura 2.2: Interconexión de los servicios de una vivienda a través de pasarela residencial

Fuente: (Martín, 2010)

2.2.3. Topologías de red

La topología de red se refiere a la forma en que se conectan los equipos de control para la comunicación e intercambio de datos. En la tabla 2.1 se muestra el detalle.

Tabla 2.1: Topologías de red

TOPOLOGÍAS DE RED	DEFINICIÓN	FIGURA
Red en estrella	Los sensores (E) y actuadores (S) mediante cableado se encuentran conectados al equipo de control (EC) para el tratamiento de la información.	
Red en anillo	Los equipos de control se encuentran conectados entre sí formando un anillo. La comunicación fluctúa de manera unidireccional, es así que si un (EC) presenta algún daño afectaría a toda la red.	
Red en bus	Los equipos de control se encuentran conectados al bus de datos el cual permite la circulación de información.	

Fuente: (Molina & Bravo, 2010)

2.2.4. Características de un sistema domótico

En su aporte (Guacho & Muñoz, 2014) expresan que existen varias características técnicas y tecnológicas que deben ser consideradas en la implementación de un sistema domótico:

- Simple de utilizar: el sistema de control implementado en un hogar digital debe ofrecer una interfaz amigable para los usuarios con la finalidad de obtener rápida adaptación y confort.
- Flexible: debe ser considerada la opción de adaptaciones futuras de nuevos dispositivos al sistema ya creado. Estos desarrollos van a ser agregados a la estructura o alguna de sus partes sin necesidad de incurrir en costos elevados o demasiado trabajo.
- Modular: la modulación reticular facilita la optimización en el tiempo de construcción e instalación debido a que son desarmables, transportables y reorganizables. Al mismo tiempo, este diseño debe

contar con áreas de funcionamiento independientes, evitando errores que afecten al sistema en general. La estructura utilizada permite la implementación de nuevos servicios a los que fueron diseñados.

- Integral: el sistema domótico debe tolerar la comunicación y el intercambio de datos entre las diversas áreas de supervisión, de manera que los subsistemas se encuentren integrados de forma adecuada.

2.2.5. Elementos que conforman una instalación domótica

Una instalación domótica es conformada principalmente por los siguientes dispositivos: sensores y actuadores (nodos), que a su vez son enlazados al sistema domótico, (Martín, 2010).

2.2.5.1. Sensor

Es un dispositivo electrónico de control que se encarga de enviar señales al nodo domótico luego de percibir magnitudes físicas del exterior estas pueden ser: actividad de un interruptor, detector de gases/humos, movimientos de velocidad del viento, cambios de temperatura, entre otros tal como se muestra en la figura 2.3.

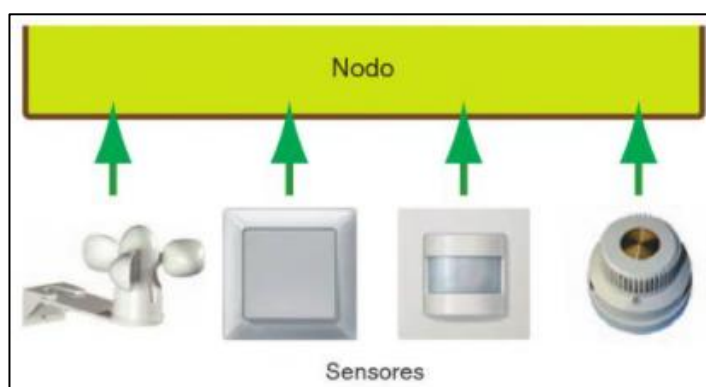


Figura 2.3: Envío de señales de los sensores del sistema domótico

Fuente: (Martín, 2010)

2.2.5.2. Actuador

Es un dispositivo capaz de recibir señales que provienen del sistema domótico para que de esta forma se pueda activar, esto es, encender/apagar luces de forma automática, regulación de luminosidad dependiendo las condiciones de luz en el ambiente, control de persianas eléctricas, activación

de alarmas de intrusión cuando el usuario no se encuentre en la vivienda. En la figura 2.4 se muestra la recepción de señales que reciben los diferentes tipos de actuadores desde el sistema domótico para realizar la función que se requiera en ese momento.



Figura 2.4: Recepción de señales en los actuadores desde el sistema domótico

Fuente: (Martín, 2010)

2.3. Agentes inteligentes

El aporte de (Nieto, 2020) expresa que un agente inteligente es un sistema informático localizado en un ambiente, que detecta a través de sensores y opera por medio de los actuadores de forma autónoma. Además, son capaces de recibir entradas en cualquier instante y tomar decisiones, la cual relaciona las percepciones con las acciones a ejecutar, normalmente vienen dadas en tablas implementadas en un agente determinado con un lenguaje definido a la que se designa programa del agente. En la figura 2.5 se muestra la comunicación entre un agente inteligente con su entorno mediante los sensores y según lo que percibe genera acciones a través de los actuadores.

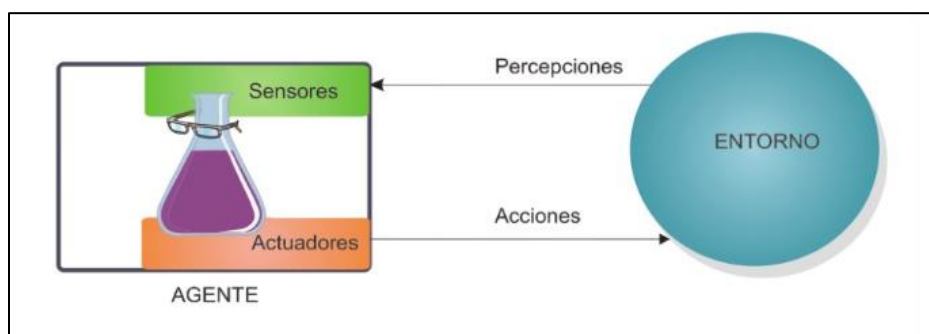


Figura 2.5: Interacción básica entre un agente inteligente y su entorno

Fuente: (Aguilar et al., 2013)

2.3.1. Bucle de funcionamiento de un agente inteligente

(Nieto, 2020) en su estudio determina estos cuatro términos de un bucle de funcionamiento de un agente inteligente como se muestra en la figura 2.6.

- Percepción: Se consigue información por medio de sensores del entorno.
- Decisión: Se decide referente a lo observado y a los objetivos.
- Actuación: Se envían las órdenes a los actuadores de acuerdo con lo decidido.
- Aprendizaje (opcional): Con relación al feedback devuelto del entorno por las actuaciones decretadas se identifica las medidas a implementar en el futuro.

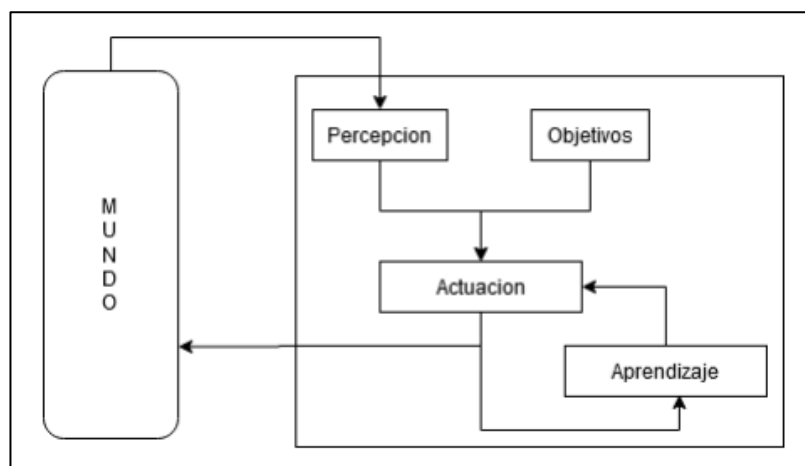


Figura 2.6: Bucle de funcionamiento de un agente inteligente

Fuente: (Nieto, 2020)

2.3.2. Protocolos de interacción entre agentes

Los protocolos para una correcta interacción entre los agentes se agrupan en cooperación y negociación. A continuación, se describe cada uno de ellos.

2.3.2.1. Cooperación

Los agentes inteligentes presentan propósitos comunes dividen el problema general en subtareas para cumplir con la resolución del mismo con la finalidad de disminuir su complejidad. Esta distribución de subtareas se

realiza en torno al grado de dificultad y capacidad de cada agente. (Nieto, 2020)

2.3.2.2. Negociación

Los agentes se enfrentan a conflictos en resolver los objetivos propuestos es necesario implementar un sistema de negociación entre ellos. Según (Rizo et al., 2003) existen cuatro posibles comportamientos en la negociación:

- Cooperación simétrica: La negociación conduce a resultados óptimos comparado a la ejecución de tareas de forma individual.
- Compromiso simétrico: Los agentes negocian un compromiso, pero deciden trabajar de forma independiente.
- Cooperación no simétrica: A través de la negociación uno de los agentes presenta gran beneficio en sus resultados y el otro se ve perjudicado en la búsqueda de su solución.
- Conflicto: La negociación no es viable dado que los agentes no llegan a un acuerdo mutuo.

Según (Nieto, 2020) especifica que las características esenciales de una correcta negociación son:

- Simplicidad: Demandas de computación y ancho de banda bajas.
- Eficiencia: Optimización de recursos de los agentes.
- Estabilidad: Evitar incentivos de desvío de las estrategias de acuerdos entre los agentes.
- Distribución: No se debe contar con un mecanismo de decisión central.
- Simetría: No es factible favorecer algún agente por razones arbitrarias.

2.3.3. Agente BDI

El estudio realizado por (Aguilar et al., 2013) indica que un agente BDI (del inglés Belief-Desire-Intentions) se trata de una arquitectura deliberativa el cual presenta un comportamiento de plantearse metas y efectuar su

razonamiento lógico para la toma de decisiones, cuyo comportamiento y conocimiento vienen representados de forma explícita utilizando un modelo simbólico. Este agente racional cuenta con actitudes mentales las cuales son:

- Creencias (B): Esta actitud constituye la información o percepción que un agente tiene sobre el entorno lo cual se encuentra almacenado en su “base de conocimientos”. Cabe recalcar que este conocimiento puede cambiar a través del tiempo como también puede ser erróneo.
- Deseos (D): Son objetivos que el agente plantea alcanzar considerando aquellas restricciones que puedan impedir el cumplimiento de metas reales.
- Intenciones (I): Son aquellas alternativas que el agente posee, basándose en creencias que le generen mayor confianza y deseos a cumplir.

En el aporte realizado por (García et al., 2004) detalla el esquema de la arquitectura básica BDI, el cual consiste en la percepción que el agente posee del entorno y sus creencias, lo cual forma parte de una base de conocimientos que junto con los deseos impulsarán la reconsideración de intenciones. La selección de acciones se realiza en base a las creencias e intenciones para finalmente ejecutar aquella acción idónea. Ver figura 2.7

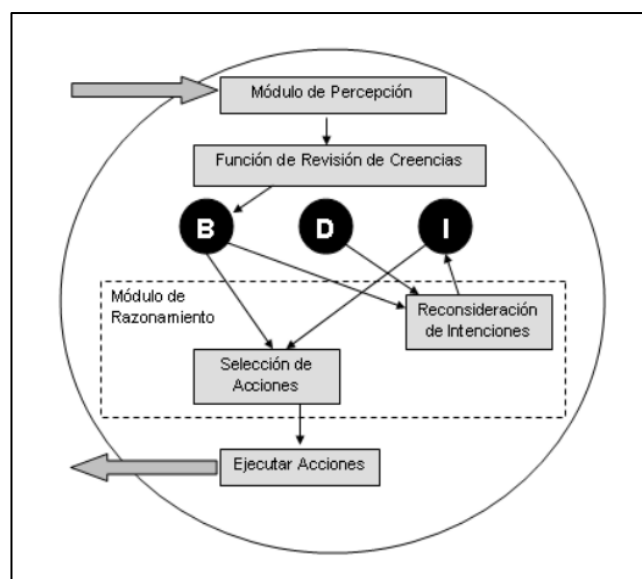


Figura 2.7: Arquitectura básica BDI

Fuente: (García et al., 2004)

2.3.4. Sistemas multi-agentes (SMA)

Es un sistema conformado por varios agentes inteligentes que interactúan entre sí, regularmente se efectúa con el paso de mensajes por medio de algún tipo de red. Generalmente, los agentes cuentan con distintos usuarios, de modo que cada uno tenga objetivos propios e independiente. Es indispensable que los agentes deban cooperar, coordinar y negociar para que puedan tener una interacción eficaz. (Nieto, 2020)

Si bien es cierto los agentes individuales son de gran importancia para la solución de problemas, sin embargo, en la práctica representa múltiples restricciones dado que pueden existir problemas mucho más complejos que no solo no podría solucionar de forma oportuna. (Rizo et al., 2003) Por tal motivo un SMA proporciona mayores beneficios, incluso su principal ventaja es la utilización de agentes existentes en un sistema, ejecutando tareas de forma conjunta para evitar diseñar nuevos agentes. En la figura 2.8 se muestra la estructura de un SMA en la cual los agentes inteligentes interactúan entre ellos.

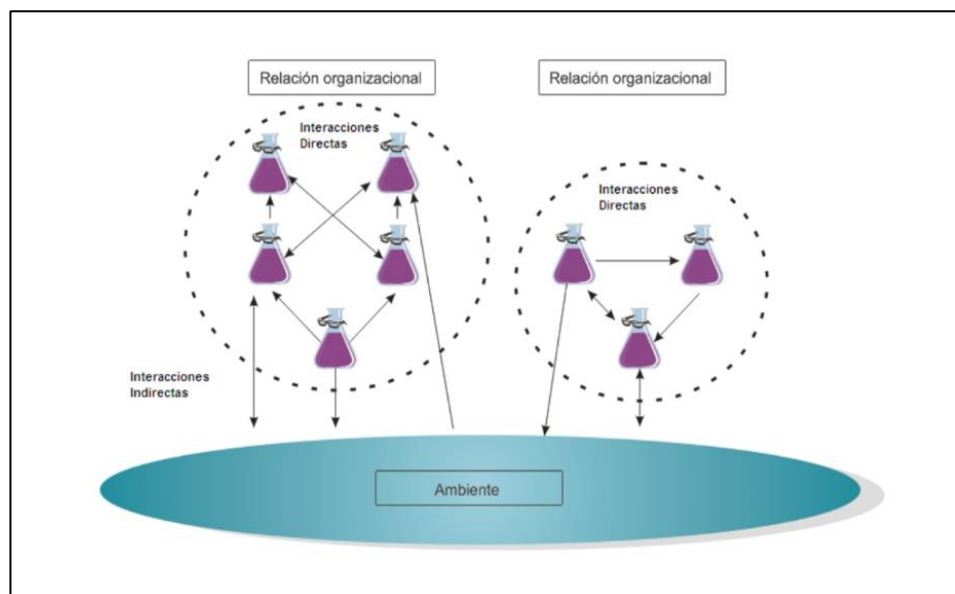


Figura 2.8: Estructura básica de un SMA

Fuente: (Aguilar et al., 2013)

2.3.5. Comunicación y coordinación entre agentes inteligentes

Según (Rizo et al., 2003) en su investigación expresa que para el correcto funcionamiento de los agentes inteligentes estos deben emplear el

mismo lenguaje y mecanismo de intercambio de comunicación. A medida que el SMA cuenta con mayor cantidad de agentes, existe la necesidad de definir un método que permita identificar y localizar a cada integrante del sistema. Cabe recalcar que la comunicación se fundamenta esencialmente en la coordinación y cooperación. Ver figura 2.9. Por otro lado, (Rizo et al., 2003) menciona tres categorías de agentes que son: agentes requeridores, agentes proveedores y agentes mediadores (Pizarra).

Cooperación	Estrategias	
	Protocolos	
Comunicación	Pizarra	Diálogos
		Mensajes
	Protocolos	

Figura 2.9: Comunicación y cooperación en SMA

Fuente: (Rizo et al., 2003)

2.3.6. Sistemas de mensajes

De acuerdo a (Rizo et al., 2003) se trata de un comunicación uno a uno es decir, existe un agente emisor el cual direcciona un mensaje destinado a un receptor como se muestra en la figura 2.12 existe un relación directa entre los agentes ya que no existe ningún intermediario (pizarra). Esta comunicación es posible por medio de lenguajes predefinidos y protocolos, esto hace alusión a los actos del habla.

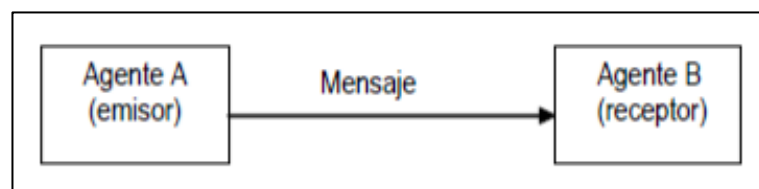


Figura 2.10: Principio de la transmisión de un mensaje

Fuente: (Rizo et al., 2003)

2.3.7. Sistemas de pizarra (del inglés Blackboard)

Actualmente la comunicación juega un rol importante en los sistemas computacionales dado que son el fundamento de las interacciones y la

organización. En su estudio (Rizo et al., 2003) indica que los métodos de comunicación se clasifican en: sistemas de pizarra y sistemas de mensaje/dialogo. Uno de los métodos de comunicación más importantes en un SMA es el “Blackboard”. Según (Rizo et al., 2003) se trata de un espacio común donde los agentes interactúan intercambiando información y conocimiento. Inicialmente un agente inteligente efectúa su determinada tarea, eventualmente accede a la pizarra para observar información reciente colocada por los demás agentes, cabe recalcar que solo recogerá aquella información de su interés y a su vez escribirá sus propios resultados. Como se muestra en la figura 2.10 los agentes inteligentes no poseen una relación directa por lo que deberán resolver su subproblema de forma autónoma.

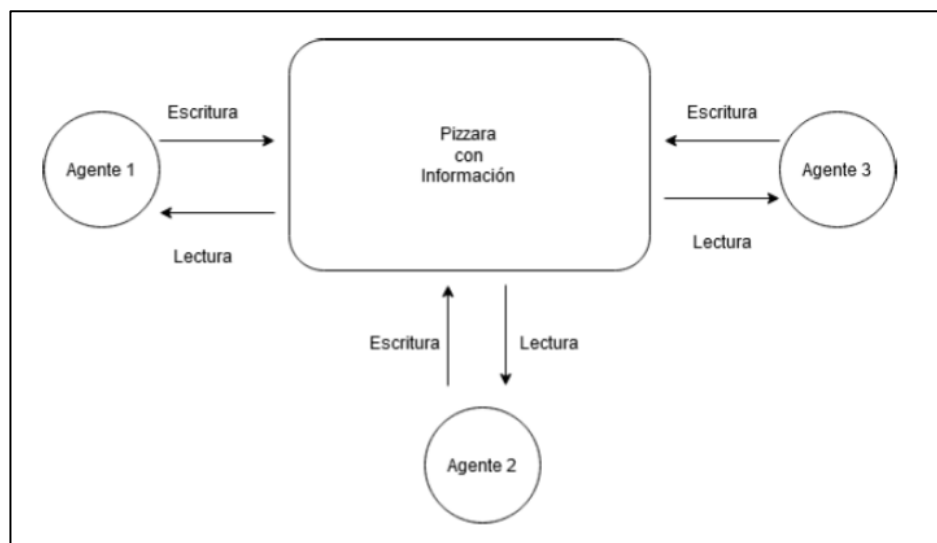


Figura 2.11: Comunicación a través del sistema de pizarra

Fuente: (Nieto, 2020)

Al tratarse de una pizarra común los agentes tienen la libertad de acceder a la información que deseen. Sin embargo, esto puede representar un cuello de botella considerando un gran volumen de agentes por ende va a existir mayor cantidad de datos. Como alternativas que contrarresten este problema el (Rizo et al., 2003) sugiere introducir al sistema la idea del moderador cuyo fin es monitorear el estado del problema global y evaluar el conocimiento de cada agente otorgando tareas al que cuente con mayor capacidad para resolver el subproblema. Otra sugerencia es contar con un

dispatcher el cual tenga la misión de informar nueva información relevante a los agentes interesados tal como lo muestra la figura 2.11.

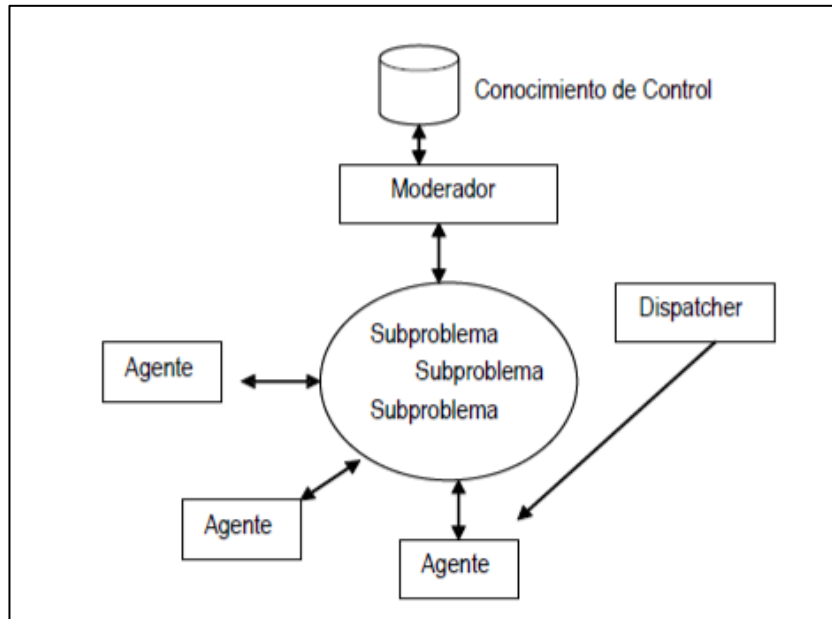


Figura 2.12: Estructura extendida de la pizarra

Fuente: (Nieto, 2020)

2.4. Redes de sensores inalámbricos (WSN)

Las redes de sensores inalámbricas en la actualidad se muestran como la tecnología más atractiva para la aplicación la tecnología IoT. (Rosero et al., 2017) En una WSN el conjunto de sensores inalámbricos se encarga de recopilar datos de un entorno y enviarlos a una estación base para su procesamiento y conclusión de la información. Además, los nodos de sensores inalámbricos multifuncionales tienen características de bajo costo y consumo de energía. (Bisht & Budhani, 2014)

2.4.1. Características de las WSN

(Campaña et al., 2018) en su aporte describe a una red de sensores inalámbrica como un conjunto de nodos que se encuentran comunicados entre sí para lograr transmitir datos de diversas eventualidades mediante diversas tecnologías y protocolos, cabe mencionar que WSN significan: Wireless Sensor Network. Básicamente un nodo inalámbrico de encuentra estructurado por un módem de banda base, radio RF, microcontrolador, memoria, controlador USB, I/O sensores y batería. La información que es

receptada por los nodos se envía a otro denominado “acumulador”, esto se logra mediante saltos de otros nodos de la red posteriormente los datos se procesan en algún canal local o remoto tal como se puede muestra en la figura 2.13. (Campamá, 2012)

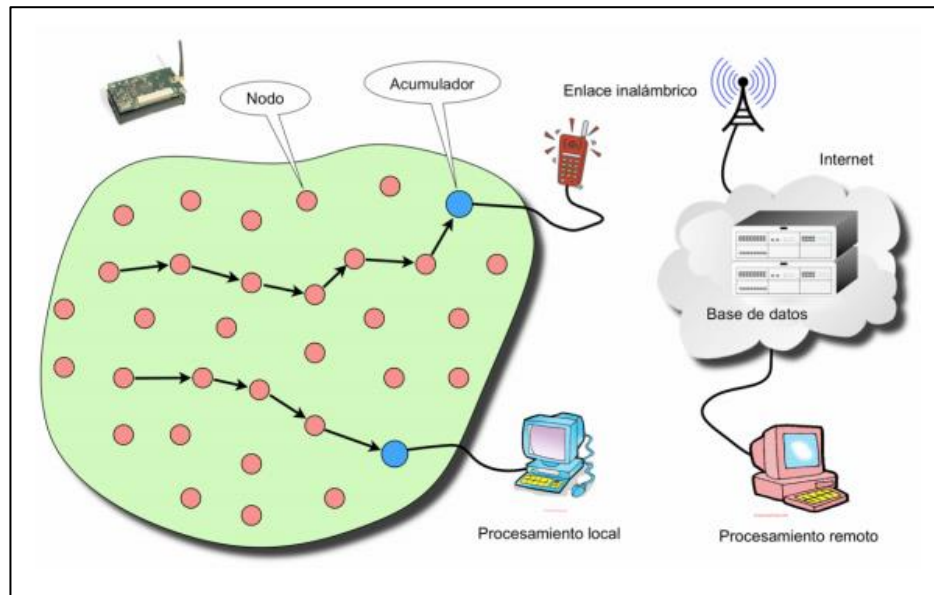


Figura 2.13: Red inalámbrica de sensores

Fuente: (Campamá, 2012)

2.4.2. Arquitectura del WSN

En su aporte (Fernandez et al., 2009) expresa que las WSN están compuestas por la agrupación de nodos sensores que se caracterizan por poseer una limitada capacidad de comunicación y cómputo. La red de sensores va a tener un tiempo de vida ligado a la duración de las baterías. Los nodos dentro de la red están dispersos en forma ad-hoc en una superficie definida a monitorizar, es decir, que dentro de esta red todos los nodos tienen condiciones similares y no se encuentra ninguno de forma central como se muestra en la figura 2.14.

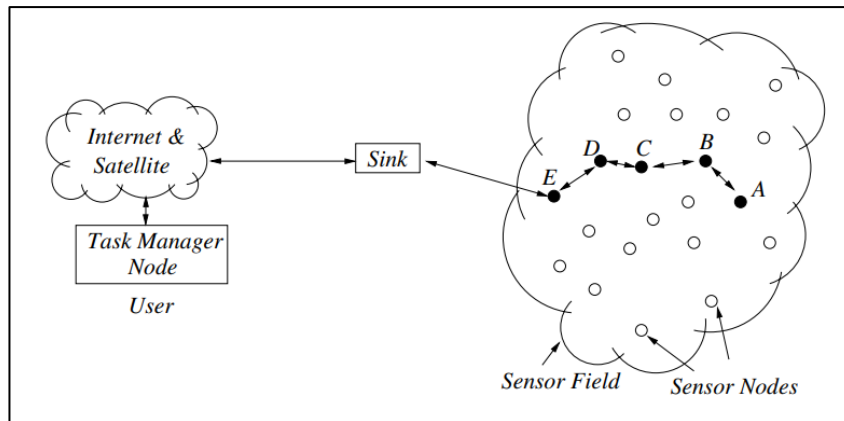


Figura 2.14: Nodos de sensores dispersos en un campo de sensores

Fuente: (Akyildiz & Vuran, 2010)

Una red de sensores inalámbrica normalmente se encuentra compuesta de diversos elementos como el nodo sensor, la puerta de enlace y estación base, que facilitan la comunicación entre los nodos. Esta estructura permite desde recopilar datos del ambiente, transformarlos en forma digital y transmitirla mediante el Gateway a determinada estación base, en la cual la información es guardada y disponible para cualquier tratamiento antes de ser direccionada a un nuevo servidor que a su vez permita almacenar datos históricos. (Fernandez et al., 2009). En la figura 2.15 se muestra la arquitectura de una red inalámbrica WirelessHART, desarrollada para fines industriales.

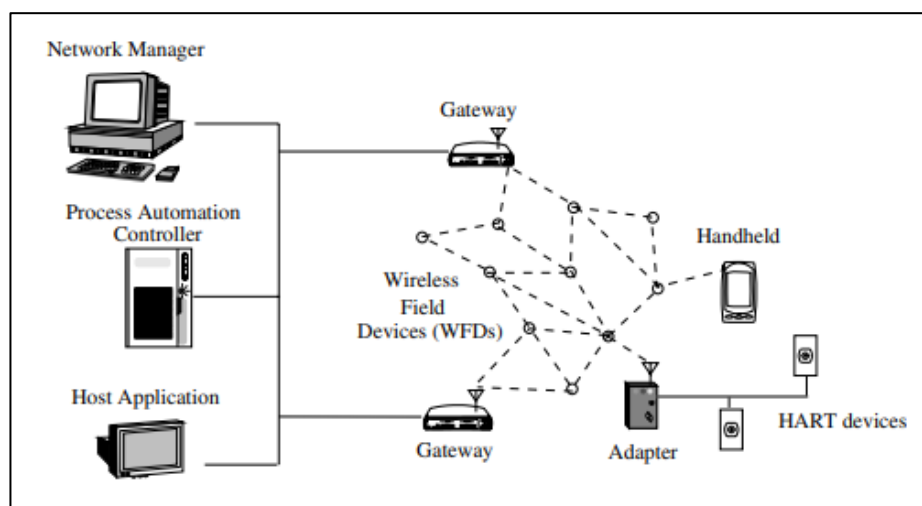


Figura 2.15: Arquitectura y componentes WirelessHART

Fuente: (Akyildiz & Vuran, 2010)

2.4.3. Nodos sensores

Es considerado uno de los principales componentes de cualquier WSN, los cuales son configurados tanto en hardware y software de tal manera que puedan obtener información del medio preestablecido permitiendo detectar anomalías, necesidades de cambio, en general, tomar decisiones. Este dispositivo tiene la característica de poseer un tamaño pequeño, ser de reducido costo y bajo consumo de energía. Adicional, cada sensor es estructurado y programado para la acción que va desarrollar ya sea en el ámbito agrícola, médico, industrial, entre otros. (Campaña et al., 2018)

El autor (Kocakulak & Butun, 2017) considera que el nodo sensor cuenta con los siguientes componentes como sensores, radio, procesador, memoria y fuente de energía. En la figura 2.16 se muestra la arquitectura de un nodo sensor especificando cada uno de sus elementos.

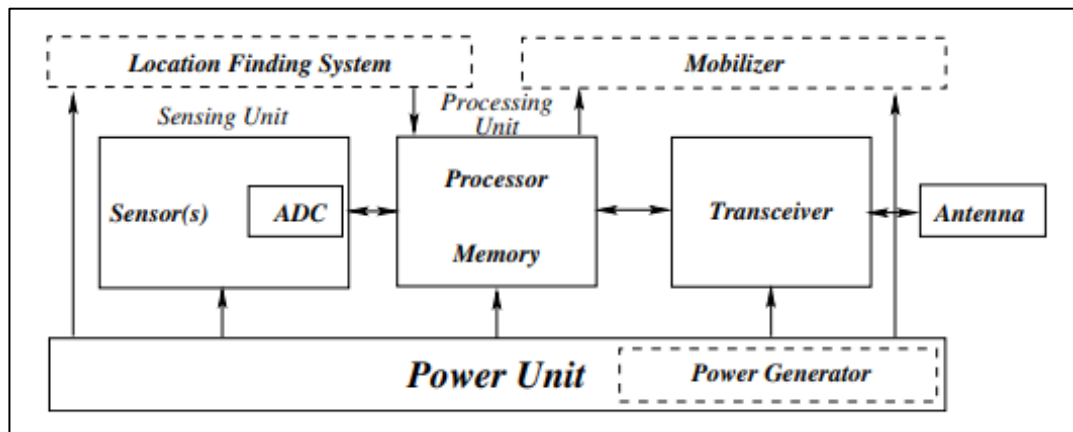


Figura 2.16: Arquitectura del nodo sensor

Fuente: (Akyildiz & Vuran, 2010)

2.4.3.1. Sensores

Los nodos están conformados por sensores, que son aquellos dispositivos que captan información del ambiente, poseen múltiples aplicaciones las cuales pueden ser sensor de huella, movimiento, temperatura, etc. (Campaña et al., 2018). Según (Fernandez et al., 2009) los sensores se pueden segmentar en tres categorías:

- Pasivo omnidireccional: Estos sensores capturan los datos de una forma global.

- Pasivo unidireccional: Este tipo de sensores tienen direcciones específicas parametrizadas para adquirir la información.
- Activos: Sondean constantemente el entorno, tal como un sensor sísmico, radares, etc.

2.4.3.2. Comunicaciones inalámbricas

Este dispositivo tiene la función de enviar y recibir información por parte de los nodos de sensor, básicamente posee cuatro estados operativos: recepción, transmisión, inactividad y suspensión. La gama de medios de comunicación incluye radio frecuencia (RF), infrarrojos y laser, entre estos medios de comunicación la RF es de mayor preferencia para aplicaciones inalámbricas WSN (Kocakulak & Butun, 2017). Por otro lado, la opción de comunicación mediante laser resulta ser la que menor energía consume sin embargo requiere de conexión visual entre el emisor y receptor, así como también de las condiciones atmosféricas, finalmente los infrarrojos no requieren de antenas, pero presentan un alcance totalmente limitado. (Fernandez et al., 2009)

Según (Iacono et al., 2010) los tipos de tecnologías de hardware más usados para la construcción de este tipo de dispositivos: Freescale para un tipo de sensor de presión, Digi, Texas Instrument y Croosbow.

2.4.3.3. Procesador

Es conocido como el cerebro electrónico de un nodo sensor que básicamente se conforma de un microprocesador y una memoria flash. La función principal del procesador es recopilar suficientes datos, almacenarlos en la memoria y difundirlos mediante la radio para su posterior transmisión. El tamaño del dispositivo va a depender del propósito o funcionalidad del mismo. (Kocakulak & Butun, 2017)

2.4.3.4. Memoria

Los nodos sensores cuentan con memorias que les permiten almacenar suficiente información que obtienen en el proceso. Las memorias pueden ser extraíbles como es el caso del USB, disco duro, SD Card, etc., o también de tipo temporal como la memoria RAM. (Campaña et al., 2018)

2.4.3.5. Fuente de energía

Como su nombre lo indica es el que proporciona energía a los sensores, a la unidad de procesamiento integrada por el procesador y la memoria, y la comunicación conformada por el radio. Los recursos energéticos más comunes son las pilas AA, baterías utilizadas en los relojes, células solares o sistemas inteligentes. En definitiva, la energía es esencial para el cumplimiento de tareas, la recolección de las mismas se puede realizar mediante cristales piezoeléctricos en miniatura, energía termoeléctrica, etc. (Kocakulak & Butun, 2017)

2.4.4. Puerta de enlace

Es un dispositivo que forma parte de la WSN, este actúa como un conector de los nodos sensores con los asistentes digitales personales. Según (Kocakulak & Butun, 2017). las puertas de enlace pueden presentar tres tipos de estado las cuales son: activas, pasivas e híbridas. Lo interesante de este de esta parte del WSN es que recibe los datos de los nodos y posterior a ello puede almacenar esa información o generar algún tipo de alerta.

2.4.5. Estación base

(Fernandez et al., 2009) expresa que una estación base se encarga de recolectar y almacenar datos dentro de un servidor donde el usuario puede acceder de forma remota y analizar la información presentada.

2.4.6. Protocolos de transmisión de datos

Dentro de las tecnologías más destacadas se encuentran Bluetooth, ZigBee y Wi-Fi. A continuación, se describe cada una de ellas.

2.4.6.1. Bluetooth

Es una tecnología de comunicación inalámbrica cuyo protocolo utilizado es el IEEE 802.15.1 permitiendo transmitir información entre diversos dispositivos ya sean auriculares, teléfonos inalámbricos, teclados, apertura de puertas, microcontroladores, etc., a través de enlaces seguros de radio frecuencia. Con la particularidad de poseer un alcance de 10 metros entre un rango de frecuencia de 2.4 a 2.48 GHz permitiendo transmitir en full dúplex con 1600 saltos/s como máximo, los cuales se distribuyen en 79 frecuencias en intervalos de 1MHz. (Ruiz & Molina, 2010)

Los dispositivos se comunican mediante un sistema informático comprendido por un maestro y varios esclavos conectados de forma centralizada con un máximo de 8 conexiones punto a punto, en el cual uno llamado nodo padre es aquel que envía la información para la sincronización mientras que el resto de los dispositivos funcionan como nodos hijos. (Huidobro, 2014)

2.4.6.2. ZigBee

ZigBee posee el estándar IEEE 802.15.4 con la finalidad de desarrollar chips de voltaje y costo bajo. El aporte de esta tecnología pretende exaltar el término “informática ubica”, es decir, que se encuentra presente en varios lugares al mismo tiempo como dentro de las viviendas, oficinas y vehículos. Por otro lado, esta tecnología puede tener un mayor alcance entre los 10 y 100 metros facilitando cubrir los espacios que las demás dejan en su camino. Las frecuencias oscilan entre 900 MHz y 2,4 GHz llegando a alcanzar una velocidad tope de 250 Kbit/s por lo cual indica tener una velocidad inferior a la del Bluetooth. (Huidobro & Ordoñez, 2014)

2.4.6.3. Wi-Fi

Según (Viloria et al., 2009) define que Wi-Fi es una tecnología inalámbrica la cual abarca una amplia gama de estándares para redes de comunicación contando con especificaciones IEEE 802.11. Es conocido como la herramienta que permite acceder a Internet es así que un access point envía y recibe datos mediante ondas de radio, además, se encuentra conectado a un MODEM que a su vez se comunica con el núcleo de la red. Para mantener la seguridad se utiliza un esquema denominado Wi-Fi Protected Access (WPA). Este tipo de tecnología inalámbrica posee las siguientes características:

- Tasas de transmisión máximas de 54 kbps dentro de un canal de 20 MHz con una banda de 2.4 GHz.
- Fácil instalación.
- Alto grado de escalabilidad.

En la tabla 2.2 se muestra los integrantes de la familia del protocolo IEEE 802.11 con su respectiva descripción.

Tabla 2.2: Integrantes de la familia del protocolo IEEE 802.11

PROTOCOLO IEEE 802.11	
ESTÁNDAR	DESCRIPCIÓN
802.11	Estándar WLAN original. Soporta de 1 a 2 Mbps.
802.11 a	Estándar WLAN de alta velocidad en la banda de los 5 GHz. Soporta hasta 54 Mbps.
802.11 b	Estándar WLAN para la banda de 2.4 GHz. Soporta 11 Mbps.
802.11 e	Está dirigido a los requerimientos de calidad de servicio para todas las interfaces IEEE WLAN de radio.
802.11 f	Define la comunicación entre puntos de acceso para facilitar redes WLAN de diferentes proveedores.
802.11 g	Establece una técnica de modulación adicional para la banda de los 2.4 GHz. Dirigido a proporcionar velocidades de hasta 54 Mbps.
802.11 h	Define la administración del espectro de la banda de los 5 GHz para su uso en Europa y en Asia-Pacífico.
802.11 i	Está dirigido a abatir la vulnerabilidad actual en la seguridad para protocolos de autenticación y de codificación.

Fuente: (Viloria et al., 2009)

2.5. Lenguaje unificado de modelado (UML)

Un lenguaje unificado de modelado (UML) está compuesto esencialmente por gráficos denominados modelados el cual muestra diseños definidos conjunto a técnicas que sirven principalmente para obtener un buen análisis orientado a objetos. (Fowler & Scott, 1999) Este modelado se crea para emplearlo en varios sistemas y espacios de objetos distribuidos proporcionando ductilidad y coordinación que puede ser manejado por un computador. (Fuentes & Vallecillo, 2004)

Según el aporte de (Silva et al., 2018) expresa que UML es una herramienta que nos permite comprender un proceso de determinado sistema de forma sintetizada aportando abstracción. Este modelado se basa en la

elaboración de un modelo a partir de requisitos definidos mostrando información útil y acertada. Ciertamente, al momento de aplicarla conjunto a una resolución automatizada de algún sistema, logra tener un alto grado de aprobación con resultados significativos, es imprescindible contar con registros para futuras variaciones.

2.5.1. Vista general del UML

De acuerdo con (Alarcón, 2000) el lenguaje unificado de modelado es conformado por tres elementos los cuáles son: bloques de construcción, reglas y mecanismos comunes tal como se muestra de forma detallada en la figura 2.17.

En primera instancia, los bloques de construcción se constituyen por: elementos, diagramas y relaciones, los cuales interaccionan entre sí. Es así que, los elementos son puntos de primer orden que van a depender del uso que se requiera ejecutar ya sea de comportamiento, agrupación, anotación y estructurales, por otra parte, las relaciones pueden ser de dependencia, asociación, generalización y realización, mientras que los diagramas son agrupaciones de elementos fijados de acuerdo a los enfoques que se le establezcan. Por otro lado, las reglas para el UML aportan gran significancia dado que son las directrices para la elaboración de los modelos, estos afectan a nombres, alcances, visibilidad e integridad. Finalmente, se conoce que los diversos mecanismos contribuyen a la adaptación del lenguaje a los objetivos propuestos siempre y cuando se cumpla con un proceso ordenado y correcto cumplimiento de reglas. Entre los mecanismos a considerar se encuentran las especificaciones cuyo rol es detallar la sintaxis y semántica de los bloques de construcción, también se tiene los adornos que básicamente son elementos extras que pueden complementar la información. Como tercer punto se encuentran las divisiones comunes, dicho mecanismo trata de generar divisiones de criterios, y otro mecanismo importante es la extensibilidad que justamente aporta considerablemente al modelo ya que otorga una dimensión más amplia para un correcto entendimiento del mismo.

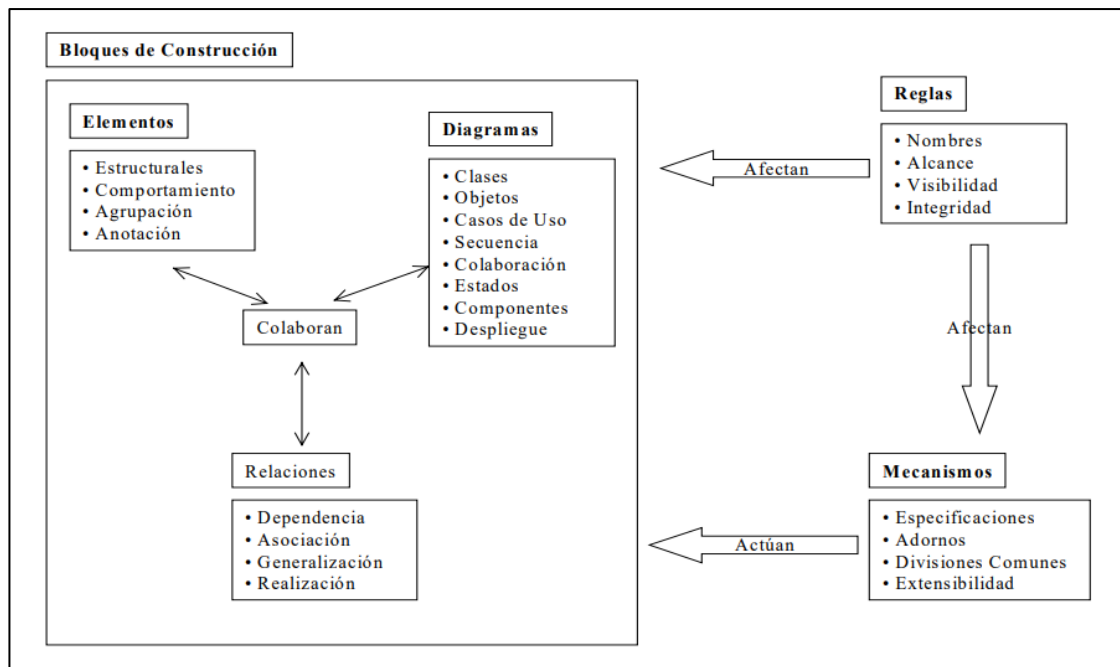


Figura 2.17: Vista general de los elementos de UML

Fuente: (Alarcón, 2000)

2.5.2. Diagramas de UML

Teniendo en cuenta a (Schmuller, 2000) declara que el UML se encuentra creado por distintos componentes gráficos que se juntan para obtener los diagramas. Gracias a que UML es un idioma que puede acoplar estos elementos siguiendo reglas. Asimismo, el principal objetivo de los diagramas es exponer las múltiples perspectivas de un sistema el cual se denomina modelo UML. Además, se debe enfatizar que este modelo detalla las actividades que se asumen que realizará el sistema, sin especificar el desarrollo de este procedimiento. En los siguientes párrafos se analizará brevemente los diagramas de casos de uso utilizados en el modelado de los sistemas multi-agentes, que básicamente son cuatro: Diagrama de casos de uso, diagrama de secuencia, diagramas de estado y diagrama de actividades.

2.5.2.1. Diagrama de casos de uso

Con base en (Rumbaugh et al., 2000) afirma que un diagrama de casos de uso moldea la correcta actividad del sistema conforme lo observan los usuarios externos denominados actores, tienen como principal objetivo es detallar los casos de usos y los actores evidenciando que estos últimos intervienen en cada caso de uso. Por otra parte, los diagramas de casos de

uso se encargan estrictamente en registrar los macrorrequisitos y disponibilidad otorgada por el sistema. (Kimmel & Pérez, 2007)

Se tiene como ejemplo la figura 2.18 que muestra el diagrama de casos de uso de una taquilla. En este diagrama se denominan actores al vendedor, quiosco y supervisor. Se considera como actor al quiosco porque es otro elemento que interactúa con el cliente admitiendo pedidos. Al cliente no se lo considera como actor debido a que no se encuentra enlazado con la directamente con la aplicación de la taquilla. En este ejemplo los casos de uso son las siguientes:

- Comprar entradas: Solo puede ser realizado a través del quiosco el vendedor.
- Comprar suscripciones: Este caso solo puede ser efectuado por medio del vendedor.
- Examinar las ventas totales: Únicamente puede ser requerida por el supervisor.

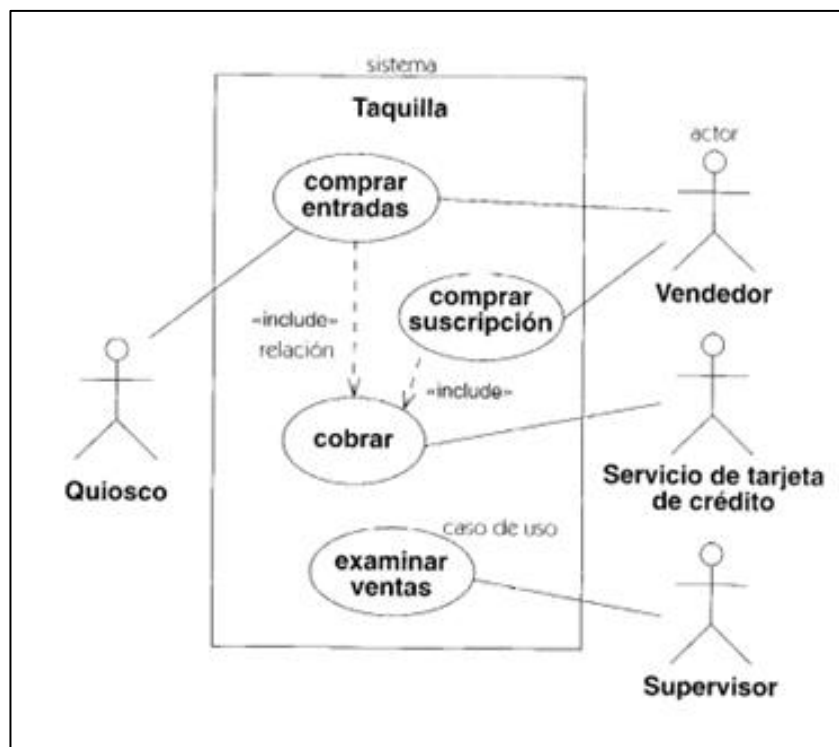


Figura 2.18: Ejemplo de un diagrama de casos de usos

Fuente: (Rumbaugh et al., 2000)

2.5.2.2. Diagrama de secuencias

El diagrama de secuencias es considerado de interacción ya que se componen de la agrupación de objetos y sus relaciones incorporando mensajes que se envían los objetos entre sí. (Alarcón, 2000)

Como expresa (Rumbaugh et al., 2000) en su aporte estos mensajes se dirigen en secuencia temporal, es decir, que cada rol (lista) dentro de la sucesión se presenta como una línea vertical también nombrada línea de vida durante un establecido lapso de tiempo con la interacción (comunicación) total. Así pues, este diagrama puede ser empleado para presentar el proceso de conducta que tiene un caso de uso. Para entender mejor el diagrama de secuencia se da como ejemplo la figura 2.19 que utiliza el caso de uso comprar entradas.

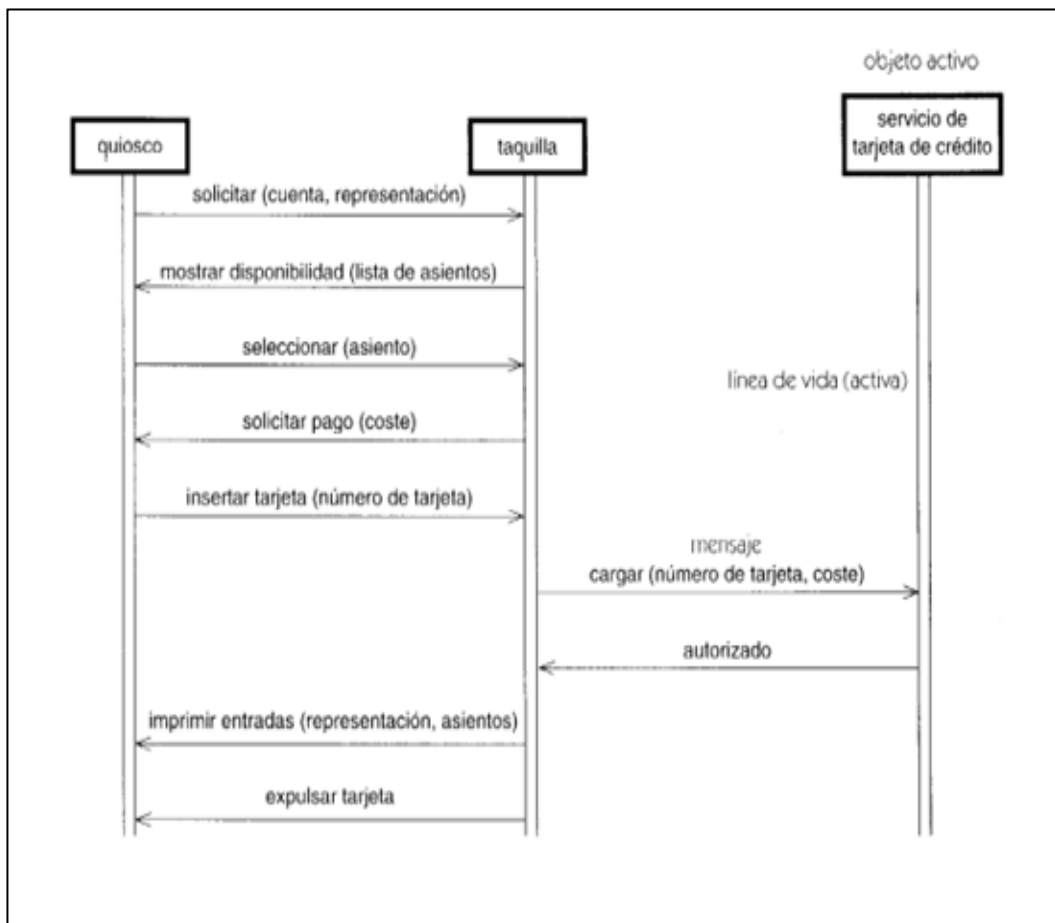


Figura 2.19: Ejemplo de un diagrama de secuencias

Fuente: (Rumbaugh et al., 2000)

2.5.2.3. Diagrama de estados

Una máquina de estados moldea los posibles sucesos de vida de un objeto, el cual abarca a los estados enlazados por transiciones. Para cumplir algunas condiciones durante la vida de un objeto es necesario que cada estado moldee un espacio de tiempo. Al presentarse un evento produce una transición que traslada el objeto a un estado nuevo. (Rumbaugh et al., 2000) La figura 2.20 muestra el diagrama de estados de un actor que busca alimento, encontrarlo y por último consumirlo.

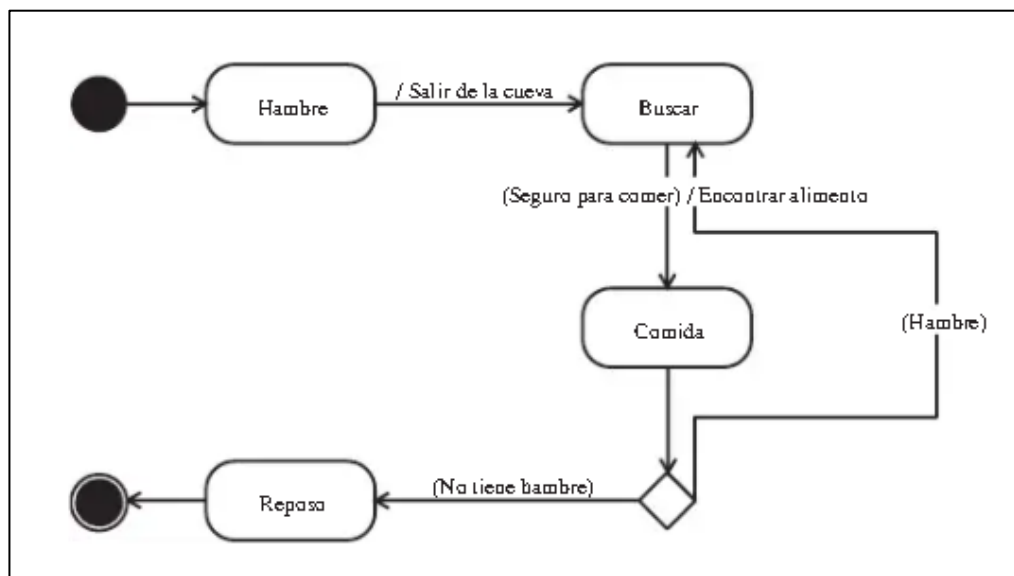


Figura 2.20: Ejemplo de un diagrama de estados

Fuente: (Kimmel & Pérez, 2007)

2.5.2.4. Diagrama de actividades

Como expresa (Alarcón, 2000) los diagramas de actividades son un modelo singular que se enfoca en exhibir la secuencia de actividades entre objetos en un sistema. Este diagrama engloba la dinámica de un entorno en específico indicando la interacción de las partes a desarrollar. En la figura 2.21 se muestra el diagrama de actividades para ejemplo de una taquilla donde se exponen los requerimientos necesarios para montar una obra.

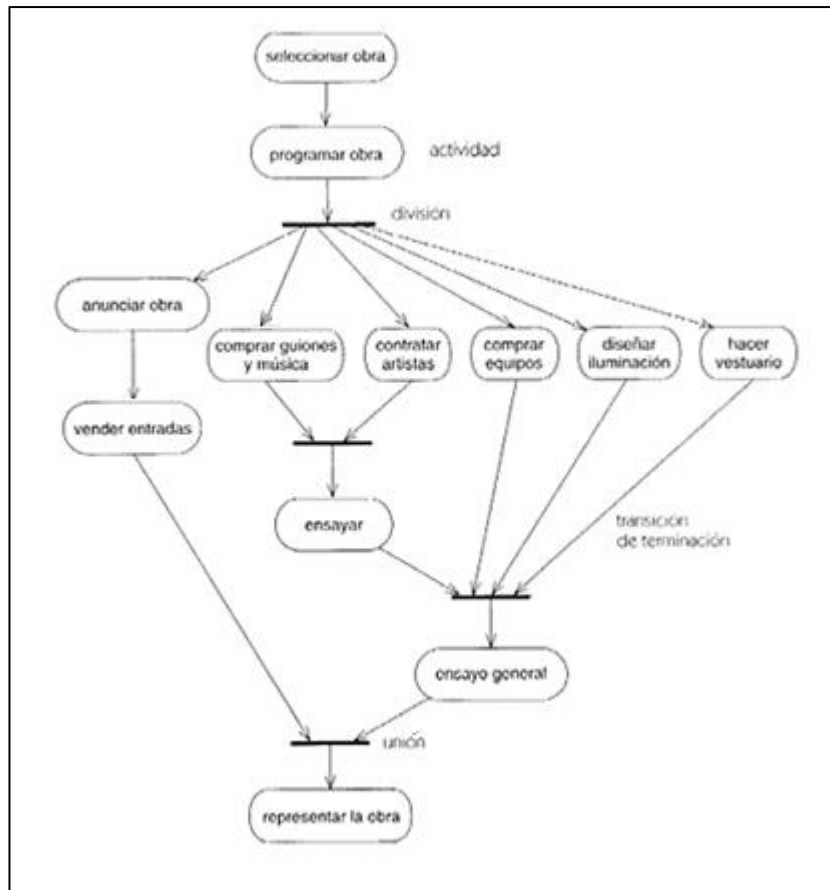


Figura 2.21: Diagrama de actividades

Fuente: (Rumbaugh et al., 2000)

2.6. Modelos de automatización

Un modelo de automatización se define como una estructura de organización e integración de los elementos de sistemas que dan pie a un correcto desarrollo en determinada área de aplicación. Estos modelos surgen como patrones guía sobre las tareas que deben ser ejecutadas, así como también su metodología. Estas herramientas son claves para el diseñador ya que le permitirían considerar aquellos aspectos importantes tales como terminología, estructura y determinar actividades de cada para cada uno de sus dispositivos. (Aguilar et al., 2013)

2.6.1. Modelo jerárquico

Según el estudio de (Aguilar et al., 2013) sostiene que el modelo jerárquico consiste en una arquitectura lineal de subordinación, es decir, los subsistemas se encuentra interrelacionados lo que puede generar ciertas dificultades ante variaciones en el sistema. Cada nivel cuenta con su

funcionalidad específica lo cual no les permite tomar iniciativa puesto que carecen de autonomía. Además, se debe considerar que ante posibles cambios ya sea implementar, eliminar o realizar modificaciones en los recursos presenta cierto grado de dificultad, ya que distorsiones en los niveles bajos afectan a los superiores implicando problemas de funcionamiento. Es así que las actualizaciones deben realizarse en todos los niveles del sistema. En la figura 2.22 se muestra un ejemplo de modelo jerárquico en la que se distingue dentro de la pirámide al control estratégico como el nivel superior.

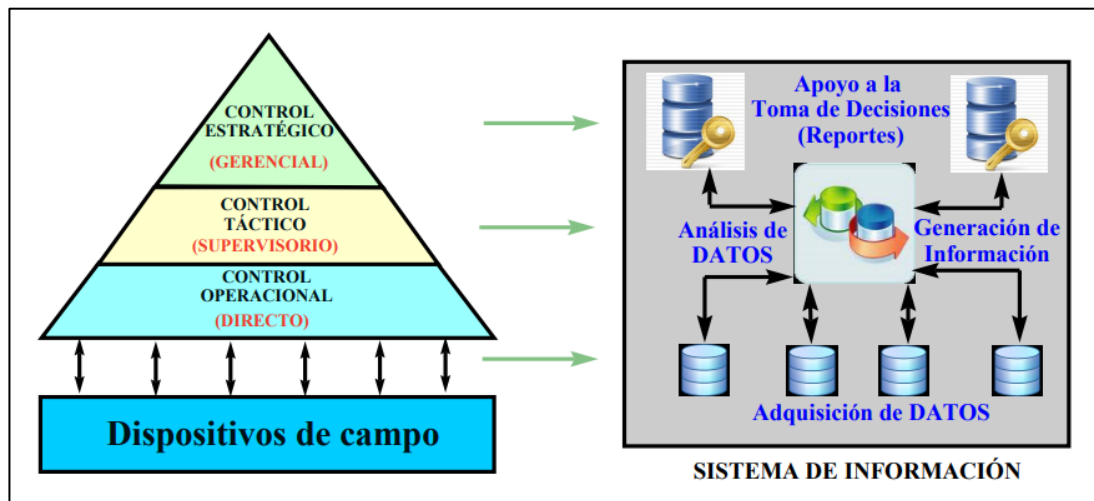


Figura 2.22: Ejemplo de modelo jerárquico

Fuente: (Aguilar et al., 2013)

2.6.1.2. Características del modelo jerárquico

Las características más relevantes de este tipo de modelo son:

- Niveles superiores de la estructura tienden a encargarse de planificar mientras que los inferiores se dedican a ejecutar dichas tareas.
- Este modelo es más permisible para implementar nuevas tecnologías.
- Son eficientes, robustos y poseen nivel de predictibilidad.
- Permite delegar funciones a niveles más bajos del diseño.
- Estructura similar a la gerencial humana.

2.6.2. Modelo heterárquico

El modelo heterárquico tiene como particularidad que todos sus elementos se encuentran al mismo nivel, prohibiendo la jerarquía. Esta

característica les permite desarrollar un mejor desempeño ante posibles variaciones en el sistema. A diferencia del modelo anterior este cuenta con autonomía total y cooperación entre cada uno de sus elementos lo cual les permite compartir la toma de decisiones para obtener un fin común basándose en esquemas de comunicación. Adicional facilita modificaciones, mantenimientos y reestructuraciones en el sistema, si uno de sus módulos llega a fallar fácilmente otro puede suplir sus actividades. (Aguilar et al., 2013)

En la figura 2.23 se muestra un ejemplo de modelo heterárquico en el cual los holones que cooperan entre ellos con la cualidad de tomar decisiones y cumplirlas, gracias a que se encuentran al mismo nivel y no existe un holón superior.

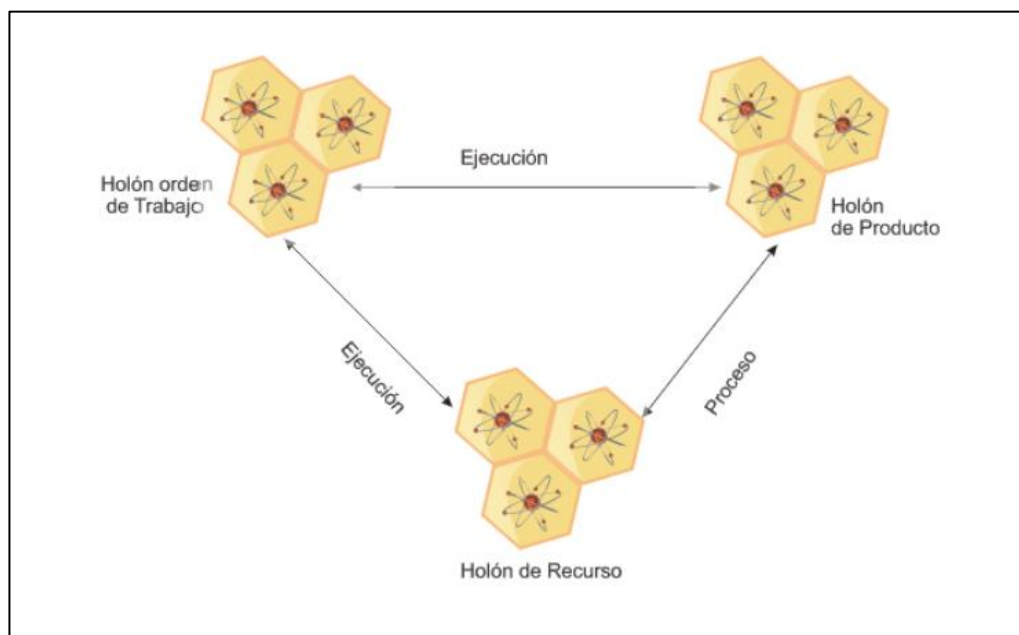


Figura 2.23: Ejemplo de modelo heterárquico

Fuente: (Aguilar et al., 2013)

2.6.2.1. Características del modelo heterárquico

Este modelo posee las siguientes características:

- Sistema horizontal, es decir, los elementos mantienen una comunicación de igualdad sin la presencia de jerarquía.
- Cooperación entre cada uno de sus elementos.

- Posibles fallas no afectan al sistema total.
- No existen categorías de niveles superiores ni inferiores.
- Posee la cualidad de autoconfigurarse.

2.6.3. Modelo híbrido

El modelo híbrido es el resultado de una combinación entre los puntos favorables de los modelos jerárquicos y heterárquicos. Las arquitecturas holónicas son aquellas que brindan autonomía a los módulos a fin de evitar colapsos en el sistema ante posibles fallas o perturbaciones, con la ventaja de poder autoconfigurarse. Cada elemento puede ser parte de múltiples jerarquías flexibles sin la necesidad de crear dependencia entre los mismos. En la figura 2.24 se observa un ejemplo de modelo híbrido debido a que se distingue al holón coordinador como aquel que se encuentra en el modelo jerárquico y los holones orden que se encuentran agrupados en la parte heterárquica.

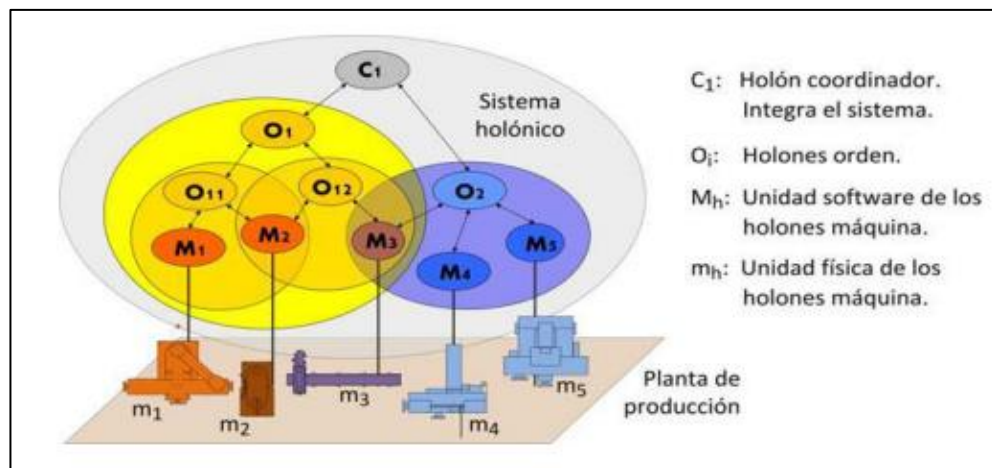


Figura 2.24: Ejemplo de modelo híbrido

Fuente: (Araújo et al., 2015)

2.7. Redes de Petri (RdP)

El estudio de (García, 2001) define que las RdP son un modelado gráfico que permite representar de manera formal sistema automatizados, esta herramienta matemática sirve para modelar concurrencia de eventos. Adicional ayuda a mostrar información relevante sobre la estructura de los sistemas modelados. Entre los componentes que lo componen una RdP se

encuentran los lugares, transiciones, arcos y marcas tal como se muestra en la figura 2.25.



Figura 2.25: Componentes que conforman una RdP

Fuente: (Vega de la Cruz et al., 2016)

El lugar (P) representa los estados de una máquina, puede ser ocupado o vacío y esto se ve reflejado por una marca o token que es un punto de color negro dentro del círculo que simboliza un lugar. Las transiciones (T) son rectas que indican eventos o acontecimientos. La activación de estos desplegará un disparo lo cual marca uno o más lugares. Por otra parte, los arcos (A) se figuran por flechas los cuales enlazan los lugares y las transiciones de forma inteligente ya que nunca se va a juntar lugar con lugar ni transición con transición. Junto al arco se especifican los pesos de arco positivo (W) representado con un número entero. En la figura 2.26 se observa a todos los elementos antes mencionados de forma conjunta en una RdP.

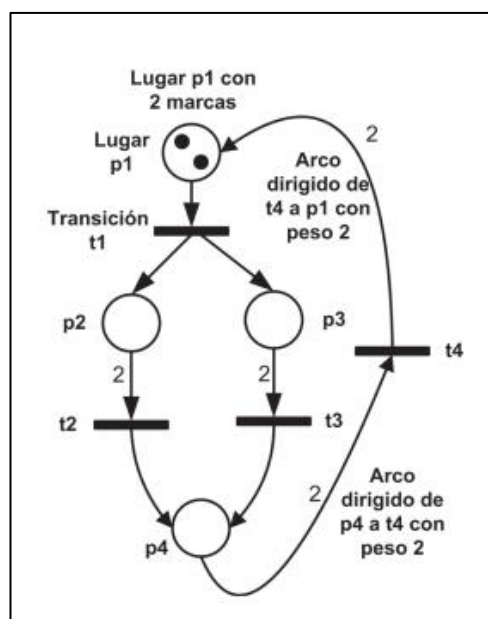


Figura 2.26: Ejemplo de una RdP

Fuente: (Murillo, 2008)

2.7.1. Lugares de entrada y salida

Se conoce como lugar de entrada a una transición cuando un arco que viene de otro lugar se orienta hacia ella. Por otro lado, un lugar de salida se da cuando después de la transición sale un arco hacia otro lugar, tal como se muestra en la figura 2.27. (García, 2001)

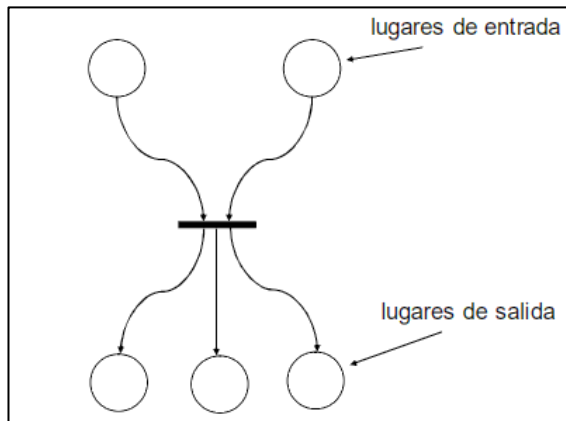


Figura 2.27: Entrada y salida de una RdP

Fuente: (Muñoz & Riccio, 2005)

2.7.2. Tipos de nodos de las RdP

Según (García, 2001) señala que en una representación de RdP se pueden presentar diferentes tipos de nodos. Como primer punto, si un lugar posee varios arcos de entrada/salida se lo cataloga como nodo OR (O). En este, existen casos particulares:

- Nodo de selección: Cuenta con un arco de entrada y varios de salida
- Nodo de atribución: Cuenta con varios arcos de entrada y uno de salida.

Los nodos AND (Y) se encuentran cuando una transición cuenta con varios arcos de entrada/salida, se clasifican en:

- Nodo de distribución: Cuenta con un solo arco de entrada.
- Nodo de conjunción: Cuenta con un solo arco de salida.

A continuación, en la figura 2.28 se muestra cada uno de los nodos OR y AND con su respectiva clasificación.

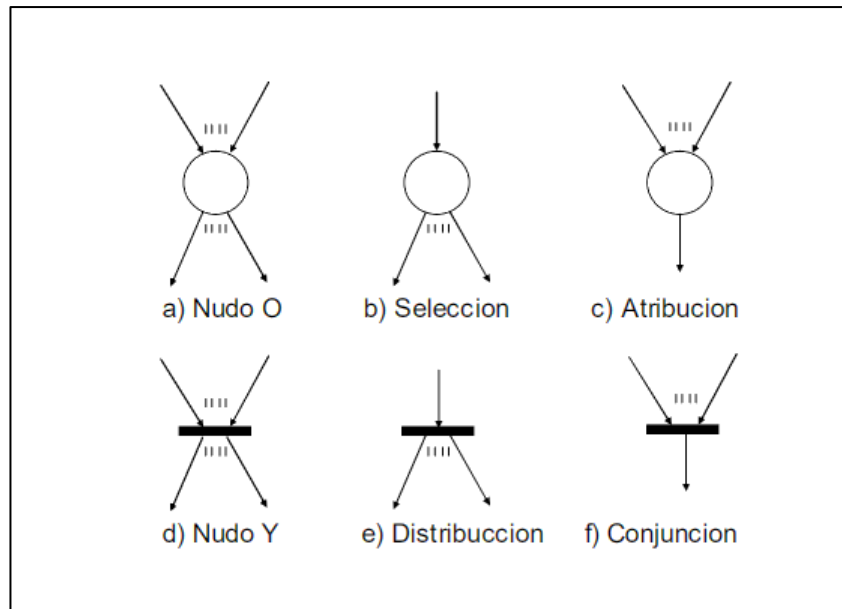


Figura 2.28: Tipos de nodos de las RdP

Fuente: (Muñoz & Riccio, 2005)

2.7.3. RdP ordinarias y generalizadas

De acuerdo a (García, 2001) las RdP puede ser ordinarias o generalizadas, los primeros son aquellos cuyos pesos indicados en los arcos toman un valor máximo de 1. Cuando no se encuentra junto al arco un número se asume que el valor del peso es la unidad. Ver figura 2.27

Por otro lado, las redes generalizadas poseen arcos cuyo peso excede de 1, este número puede venir explícito o con rayas que atraviesen el arco tal como se muestra en la figura 2.29.

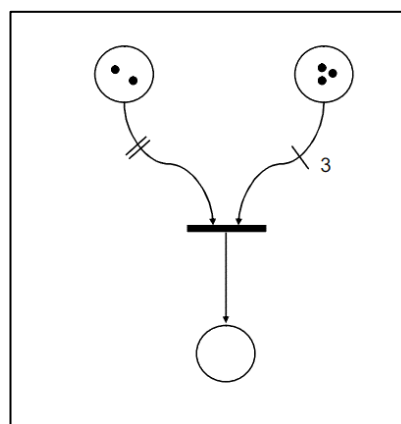


Figura 2.29: Ejemplo de una RdP generalizada

Fuente: (Muñoz & Riccio, 2005)

2.7.4. Disparo de transición

Según (Murillo, 2008) en su estudio indica que en RdP el mercado puede incurrir en diversos cambios de acuerdo a las siguientes reglas de disparo:

- La transición es habilitada si cada lugar de entrada contiene al menos W marcas.
- Dependiendo del carácter del evento una transición habilitada podría ser disparada.
- En una transición habilitada el disparo mueve W marcas de cada lugar de entrada y agrega W marcas a cada lugar de salida, W siempre indicará el peso de los arcos.

De acuerdo a (García, 2001) para que un disparo pueda efectuarse, la transición debe encontrarse habilitada, es decir, los lugares de entrada deben contener al menos una marca para el caso de redes ordinarias y para las generalizadas más de una marca.

- El sistema de RdP ordinarias consiste en remover una marca de cada lugar de entrada hacia la transición y posterior a ello adicionar una marca a cada lugar de salida.
- En un sistema de RdP generalizadas se quitan W marcas del lugar de entrada y se añaden W marcas al lugar de salida, los cuales deben concordar con los pesos que indican los arcos de entrada y salida respectivamente.

De modo de ejemplo de un sistema de RdP se tiene la figura 2.30 donde se muestra la representación química de la molécula del agua. Inicialmente se encuentran dos marcas en cada lugar de entrada (H_2 , O_2). El arco de entrada correspondiente a H con dirección a la transición indica un peso de 2, mientras que el arco de O un peso de 1 (a). Posterior al disparo de la transición el arco indica un peso de 2 lo cual genera la reacción química H_2O (b).

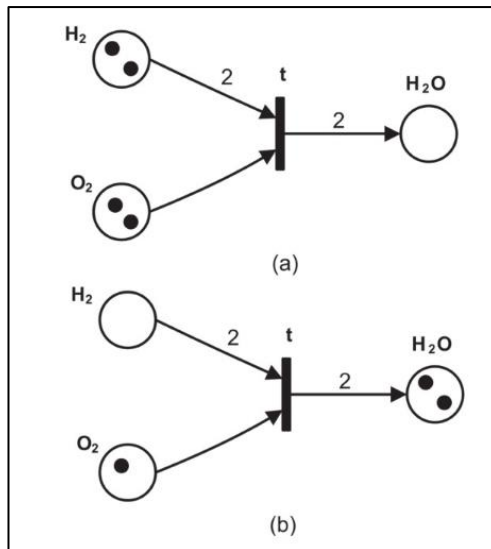


Figura 2.30: Ejemplo de representación química de la molécula del agua a través de RdP

Fuente: (Murillo, 2008)

A continuación, se observa en la figura 2.31 se observa ejemplos de diferentes casos de disparos de una transición en una RdP.

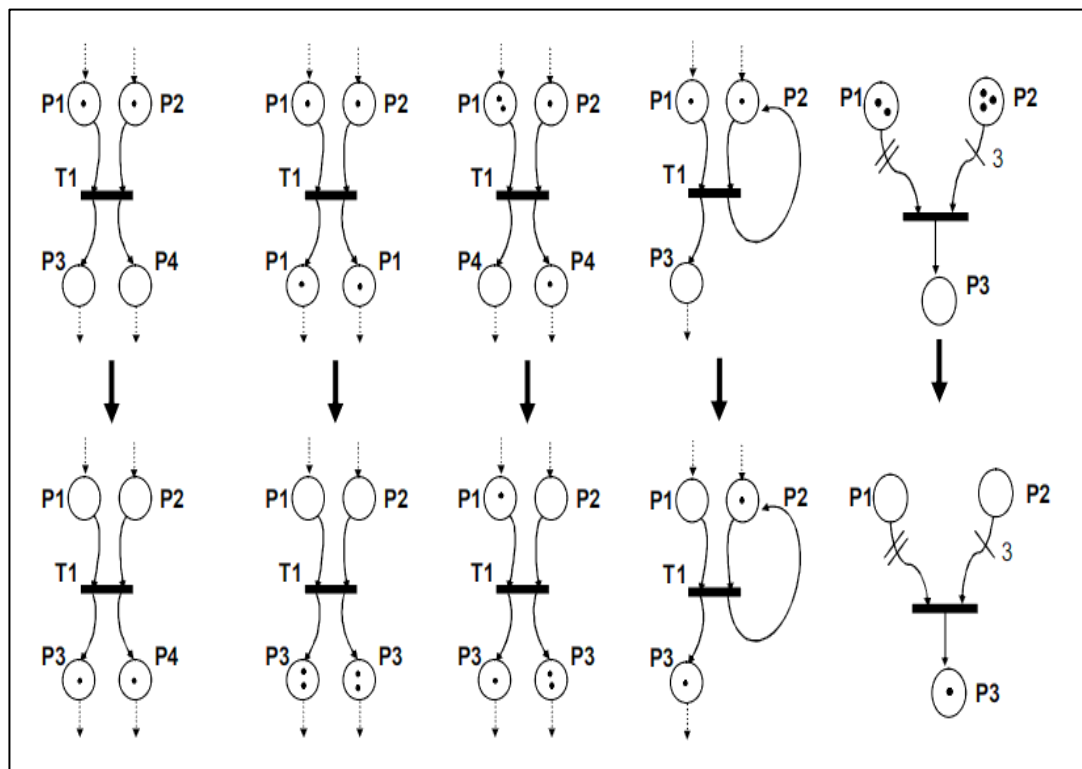


Figura 2.31: Ejemplos de casos de disparo de una transición

Fuente: (Muñoz & Riccio, 2005)

2.7.5. Propiedades de las RdP

En el estudio desarrollado por (Murillo, 2008) describe que dentro de las propiedades de las RdP se encuentran dos grupos que se detallan en las siguientes líneas.

2.7.5.1. Propiedades dinámicas

- Alcanzabilidad: Esta propiedad indica que M_n es alcanzable a partir de M_0 siempre que exista una secuencia de disparos que permita llegar de M_0 a M_n .
- Limitable o acotada: Esta propiedad indica que en cada lugar puede existir k marcas como máximo o mínimo con la finalidad de detectar inconsistencias.
- Vivacidad: Se dice que una red está viva siempre que, desde cualquier marcado alcanzado pueda darse una secuencia de disparos. Por lo que se garantiza un sistema libre de bloqueos.
- Reversibilidad y estado inicial: Indica un comportamiento cíclico para M_0 ya que posterior a una secuencia de disparos es posible alcanzar M_0 a partir de un marcado M alcanzado desde M_0 .
- Persistencia: Esta propiedad indica que, ante un escenario de dos transiciones habilitadas, un disparo de alguna transición no va deshabilitar la otra.

2.7.5.2. Propiedades estáticas

- Vivacidad estructural: Para que se cumpla esta propiedad necesariamente debe poseer un marcado inicial y así ser denotada red viva.
- Controlabilidad: Existe controlabilidad siempre y cuando un marcado es alcanzable a través de otro.
- Limitación o acotado estructural: Una RdP es limitada estructuralmente siempre que sea acotada en un conjunto finito.

- Repetibilidad: Este criterio de repetibilidad se da siempre que exista un mercado finito M_0 y una secuencia de disparos.
- Consistencia: Una RdP se denomina consistente siempre que exista un mercado finito M_0 y una secuencia de disparos cíclica de tal forma que va de M_0 a M_0 .

Capítulo 3 : DISEÑO Y MODELADO DE LA ESTRUCTURA TIPO PIZARRA PARA AGENTES INTELIGENTES

En este capítulo se describen las consideraciones iniciales del sistema propuesto para este trabajo de investigación detallando aspectos como descripción, características y funciones. De la misma forma se exponen las diferentes arquitecturas como la domótica, control domótico y los hardware de los diferentes nodos. Además, se muestran los diagramas UML y RdP, elaborados para demostrar la estructura de funcionamiento del SMA, junto con los criterios de verificación y validación de estos.

3.1. Consideraciones iniciales del diseño

En esta sección se considera la proyección y diseño de una estructura de comunicación orientado a agentes inteligentes, desarrollados para entornos domóticos. Se ha considerado utilizar la estructura tipo pizarra, como modelo de comunicación para la comunicación y colaboración entre agentes inteligentes. La proyección parte de la descripción, características del sistema que se va a desarrollar, considerando las funciones o requisitos funcionales y arquitectura del sistema. El diseño propuesto va a ser modelado utilizando herramientas de modelado UML y RdP, que permiten definir los detalles del sistema y verificar las propiedades y requisitos funcionales que garantizan la buena formación del diseño. Se destaca que al realizar cada uno de estos literales va a permitir tener una visión detallada de lo que se desea estudiar y demostrar.

3.1.1. Descripción del sistema

El presente trabajo de investigación tiene como objeto de estudio la comunicación entre agentes inteligentes, a través de la cual, estos entes autónomos pueden realizar actos de habla y cooperar entre ellos durante las ejecuciones de las diferentes tareas que les han sido asignadas. Después del análisis bibliográficos y revisión del estado del arte, se ha considerado utilizar una estructura tipo pizarra, que permita compartir la información que se genera en el sistema, lo cual puede reducir considerablemente los conflictos que se dan usualmente en este tipo de sistema.

Antes de proponer el modelo y la arquitectura de la estructura tipo pizarra, se analiza el sistema de agentes hardware que va a disponer para que la comunicación pueda ser implementada. Para lograr esto se considera el diseño de una plataforma hardware basado en microcontroladores de 32 bits que a su vez van a estar conectados a una red inalámbrica intercambiando y guardando datos con el agente de almacenamiento. Los dispositivos electrónicos utilizados en este trabajo de titulación son de bajo costo por lo que es beneficioso para los usuarios de recursos limitados que deseen tener una vivienda automatizada. A continuación, en el siguiente párrafo se va a describir el funcionamiento general de la arquitectura propuesta.

Se propone implementar la interacción entre los diferentes subsistemas domóticos a través de comunicación inalámbrica Wi-Fi utilizando la arquitectura de tipo pizarra distribuida. Al realizar esto se va a poder tener el control de un sistema domótico con microcontroladores obteniendo datos en tiempo real y a su vez poder almacenarlos en una memoria microSD para su posterior estudio o generación de históricos. Se ha considerado el uso de agentes inteligentes para cada uno de subsistemas, de los cuales uno es de gestión y los restantes de control, aunque se inicia el análisis desde las arquitecturas clásicas de control. a partir de la cuales se proyecta una arquitectura basada en agentes inteligentes.

Cabe recalcar que el primero consta de un modelo jerárquico el cual es catalogado como agente pizarra o de almacenamiento cuya función es generar órdenes a los otros tres agentes que van a realizar tareas específicas ya sean de gestión energética, confort o seguridad personal, con la particularidad de ser parte de un modelo heterárquico, es decir, que todos son iguales y que deben tener la propiedad de comunicarse entre ellos como se muestra en la figura 3.1.

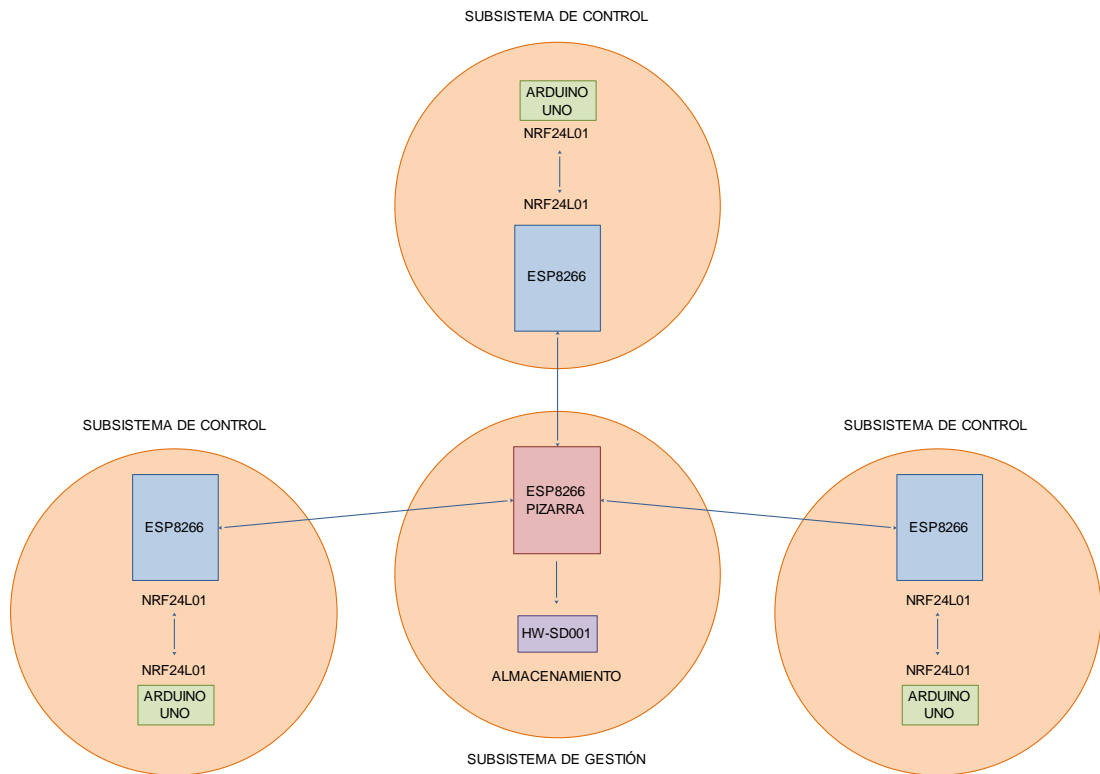


Figura 3.1: Esquema de interacción del sistema

Fuente: Autor

El funcionamiento general empieza por cargar las configuraciones del sistema, el subsistema pizarra verifica funciones y tareas del resto de subsistemas para que empiecen a generar datos, para observar el estado de cada subsistema de disponer de pantallas gráficas conectados a ellos. Cada subsistema cuenta con nodos sensores en los cuales van a estar integrados al menos un sensor y un actuador (S/A), dependiendo de la aplicación o tarea que tenga a su cargo, estos dispositivos del control domótico van a ser diferentes.

Por otra parte, la pizarra empieza a solicitar los datos sobre las funciones asignadas, si esto se cumple por parte del modelo heterárquico el subsistema de almacenamiento tendrá conectada una memoria SD en el cual se van a ir almacenando estos datos. Cabe recalcar que los nodos sensores no pueden mantener comunicación con la pizarra debido a que ellos dependen únicamente de su subsistema de control a cargo y son ellos los que entablan comunicación con el subsistema de gestión. En la figura 3.2 se muestra el

diagrama de flujo sobre la descripción del sistema en forma general. Se especifica como N a los subsistemas debido a que su número puede variar.

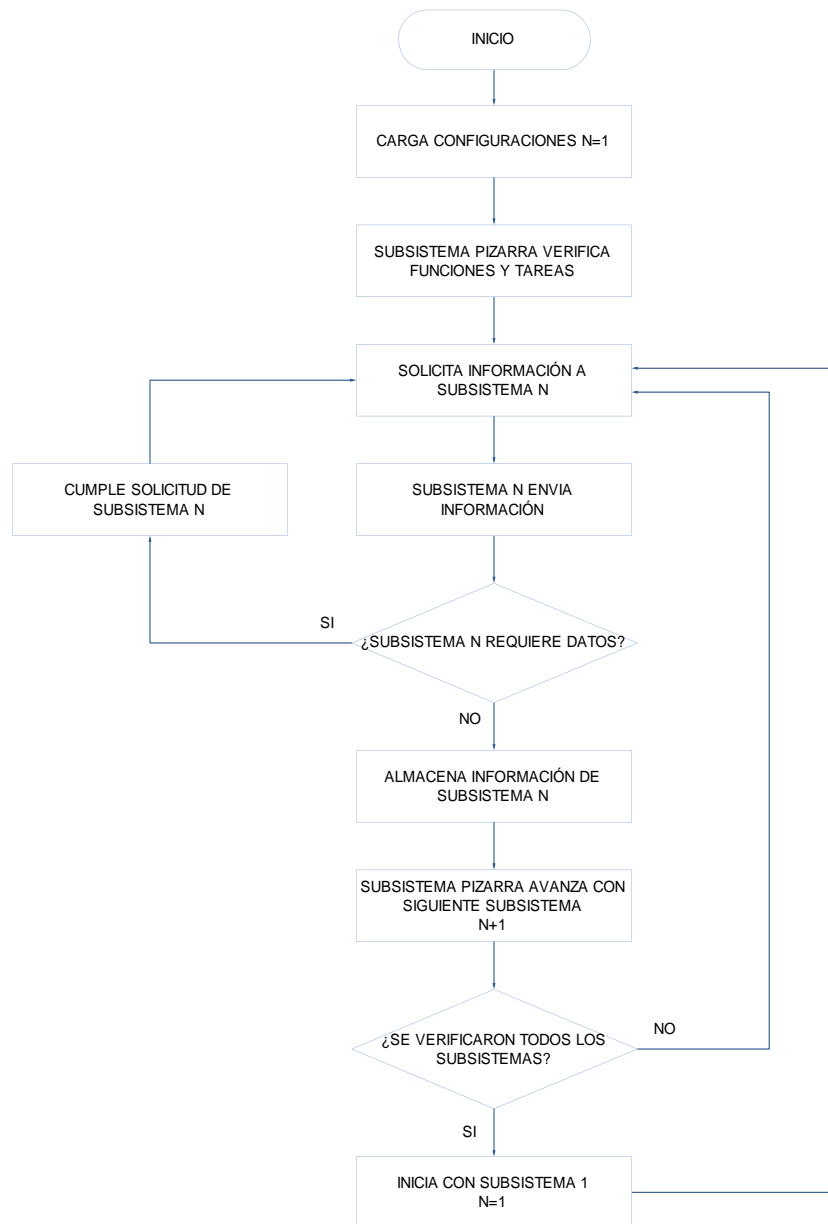


Figura 3.2: Diagrama de flujo sobre la descripción del sistema

Fuente: Autor

3.1.2. Características del sistema

En este apartado se describen las características técnicas de los dispositivos electrónicos que componen el sistema de comunicación inalámbrica. Describiendo esto, se enfatizará que cada función que deba realizar la red va a ser ejecutada de forma correcta y eficiente dando seguridad

de que todos los datos que se obtengan van a estar dentro de los parámetros de pruebas que se van a ejecutar más adelante. El sistema dispone de las siguientes características:

- Cuatro NodeMCU ESP8266 con un procesador Tensilica Xtensa LX106 y un CPU RISC de 32 bits que funciona a una frecuencia de 80MHz con un alcance máximo de cobertura de Wi-Fi de 10m con obstáculos. Su estándar Wi-Fi es el 802.11b, este módulo se energiza con un voltaje de entrada es de 5V, además el voltaje de salida a los pines de 3.3V. Por otra parte, para su comunicación se debe utilizar el protocolo ESP-NOW que ya viene integrado en el módulo por su fabricante.
- Seis transceptores (transceiver) NRF24L01 para ejercer la comunicación por radio frecuencia (RF) entre los agentes de control y los pseudo-agentes. Utiliza el protocolo SPI para su control de datos en una banda ISM de 2,4GHz con velocidad de transferencia de datos configurable de 250kbps, 1Mbps y 2Mbps. El dispositivo posee un alcance entre 10 y 20m con obstáculos. Por otro lado, su alimentación oscila entre los 1.9 a 3.6V, pero los pines toleran voltajes de 5V de los microcontroladores.
- Cuatro pantallas OLED modelo SSD1306 de 0.96 pulgadas con matriz de puntos 128x64 de resolución. Asimismo, funciona con alimentación de 3.3V al igual que 5V sin sufrir ningún daño. Para comunicarse con un microcontrolador se puede utilizar tanto el protocolo SPI o I2C. Dentro de la implementación del SMA sirve para observar la transferencia de datos entre dispositivos.
- Lector de memoria modelo HW-SD001 con memoria externa micro SD para almacenar datos de los agentes por medio de la arquitectura de tipo pizarra. Este módulo utiliza el protocolo SPI, asimismo su voltaje de polarización es de 5V, pero es regulado a 3.3V. Además, permite lectura de dos tipos de tarjeta de memoria al mismo tiempo dependiendo del código de programación. El pin CS1 se utiliza para la memoria SD y el pin CS2 en memorias micro SD. Todos los pines de este dispositivo son de tipo macho.

- Tres Arduino UNO que poseen un microcontrolador Atmega328P DIP28 desmontable que funciona con el IDE de Arduino. Su alimentación de entrada se encuentra en el rango de 7 a 12 V y a su vez el voltaje operativo es de 5 V a una frecuencia de 16 MHz. Esta placa contiene 14 pines de entradas/salidas digitales de los cuales 6 son utilizadas como salidas PWM, además, tiene 6 pines de entradas analógicas y un botón de RESET. La memoria ATmega328 cuenta con 32 KB de los cuales 0.5 KB son ocupados por el gestor de arranque, 1 KB de EEPROM y 2 KB de SRAM. Este dispositivo dentro del sistema se encarga de controlar los nodos sensores que poseen los agentes de control.
- Módulo sensor de movimiento digital tipo piroeléctrico infrarrojo (PIR) modelo HC-SR501 que incluye un controlador PIR BISS0001. Este dispositivo tiene un lente fresnel de 19 zonas y un ángulo $< 100^\circ$, además, posee un rango de detección de objetos graduable por medio de un timer (Sx) que varía entre los 3 a 7m. Asimismo, el tiempo en estado activo de la salida es ajustable a través de un trimmer (Tx) y su tiempo de retardo es de 5 a 200s regulables. Para ser alimentado su voltaje de operación fluctúa de 4.5 a 20V, la salida de pulso lógico es de 3.3V y su corriente de operación es $< 60\mu\text{A}$.
- Módulo sensor de infrarrojo emisor y receptor modelo IR FC-51 que contiene un circuito de detección LM393 que se caracteriza por ser preciso y estable. Tiene un ángulo de cobertura de 35° y un rango de detección ajustable con el potenciómetro de 2 a 30cm. Su voltaje de operación se encuentra en el rango de los 3 a 6V y un consumo a 3.3V de 23mA y 5V con 43 mA. Este dispositivo solo posee tres pines designados como VCC, GND y OUT que es la salida del pin digital.
- El sistema funciona con alimentación general de 5 VDC.

3.1.3. Funciones del sistema

En este punto se plantea las funciones del sistema y para esto se debe tener en cuenta que la estructura domótica que se está desarrollando tiene como base fundamental al subsistema de almacenamiento y los subsistemas de control. El almacenamiento dentro de la estructura domótica tiene la

función de guardar o salvar los datos que le sean enviados por parte de los subsistemas de control para poderlas almacenar dentro de una memoria. Es el único que se encuentra en el modelo jerárquico, lo que le permite mantener el control y poder solicitar información sobre los demás subsistemas.

A continuación, se muestran las funciones de la estructura tipo pizarra:

- Gestiona la información de sensores y actuadores en un sistema domótico.
- Gestiona la información de las comunicaciones entre los diferentes actores del sistema.
- Monitorea las variables del subsistema de gestión energética en una vivienda.
- Monitorea las variables del subsistema de confort domótico
- Monitorea las variables del subsistema de seguridad personal de una vivienda.

3.2. Diseño de la arquitectura domótica

En esta sección se realiza la proyección y diseño de la arquitectura domótica para la estructura de comunicación tipo pizarra distribuida. A partir de un enfoque de arquitectura de control clásica se diseña la arquitectura domótica con sistemas multi-agentes, se va a realizar la interacción de varios dispositivos físicos, comunicándose y colaborando según sus objetivos y tareas asignadas. Al realizar este diseño se debe elegir el modelo de comunicación, la topología red que van a utilizar y la distribución de dispositivos, según su importancia al realizar sus actividades.

La arquitectura de control proyectada para la estructura de comunicación domótica de tipo pizarra distribuida se puede apreciar en la figura 3.3. En este sistema hardware se va a tener el subsistema de gestión que es el nodo principal de esta estructura, además, se tienen los subsistemas de control que son aquellos que se van a encargar de realizar órdenes específicas dentro del sistema y por último a los nodos sensores que van a ser quiénes interactúen con el ambiente y van a enviar su información a un nodo de control específico según su función. En su estudio (Torres, 2020) señala que cada elemento

dentro del sistema de control cuenta con un microcontrolador, dado que se evidencia una arquitectura tipo distribuida.

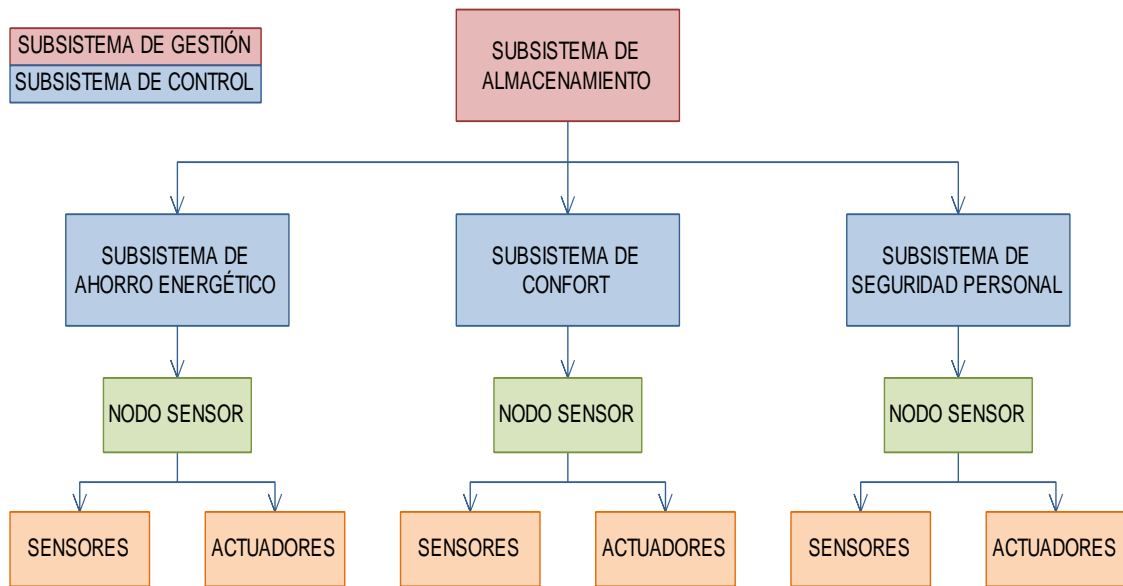


Figura 3.3: Estructura de comunicación domótica de tipo pizarra distribuida

Fuente: Autor

3.2.1. Definición de la arquitectura de control domótico

La arquitectura de control domótico permite proyectar la organización de los diferentes dispositivos que actúan en el sistema y los niveles jerárquicos entre ellos, y que están interconectados con la estructura de comunicación tipo pizarra. Los agentes de control serán los encargados de obtener los datos que le sean requeridos por parte del agente de almacenamiento, esto puede ser posible gracias a que cada agente del modelo heterárquico le es designado un grupo de nodos sensores y actuadores. Una vez obtenidos los datos requeridos le son enviados a la parte jerárquica para que sean almacenados por parte de un agente de gestión.

En la figura 3.4, se aprecia la arquitectura de control del sistema domótico general, a partir del cual, se analiza en este trabajo, solo los elementos relacionados con la estructura de comunicación tipo pizarra. Esta arquitectura se encuentra dividida por niveles que se explica a continuación:

- Pasarela residencial: En este nivel de la arquitectura domótica, se produce el intercambio de información a través del Internet, lo que permite acceder al sistema domótico de forma remota.
- Nivel de supervisión de interfaces remota, local y móvil: A través de estas interfaces los diferentes actores del sistema pueden acceder a él. El nivel de supervisión tiene la tarea de monitorear y supervisar de forma continua la ejecución correcta asignada a cada uno de los subsistemas de control.
- Nivel de supervisión, comunicación y gestión: El tema de investigación se centra en este nivel porque es aquí donde se encuentra el subsistema de gestión el cual sirve para la comunicación de pizarra distribuida. El nodo de almacenamiento se considera el más importante ya que es el encargado de generar órdenes a los subsistemas de ahorro energético, confort y seguridad personal, además se responsabiliza de almacenar la información.
- Nivel de control de ahorro energético, confort y seguridad personal: Aquí se encuentran los subsistemas de control seleccionados para esta investigación, es decir, son los nodos que reciben orden del subsistema de gestión para que puedan realizar las tareas que se les asignen. Una vez que cumplan esto nuevamente se comunicarán con el nodo central para que recepte sus datos y sean almacenados. Se debe resaltar que estos nodos pueden comunicarse entre sí porque se encuentran a un mismo nivel y pueden ayudarse en sus tareas.
- Nodos sensores: Es el nivel inferior de toda esta estructura y aquí solamente se encuentran los sensores/actuadores. Se destaca que estos elementos son quienes interactúan con el ambiente para recopilar datos que se les hayan sido requeridos por un nivel superior. Estos dispositivos se encuentran conectados a un Arduino UNO y este último a su vez a un módulo de RF para mantener comunicación con su respectivo subsistema de control.

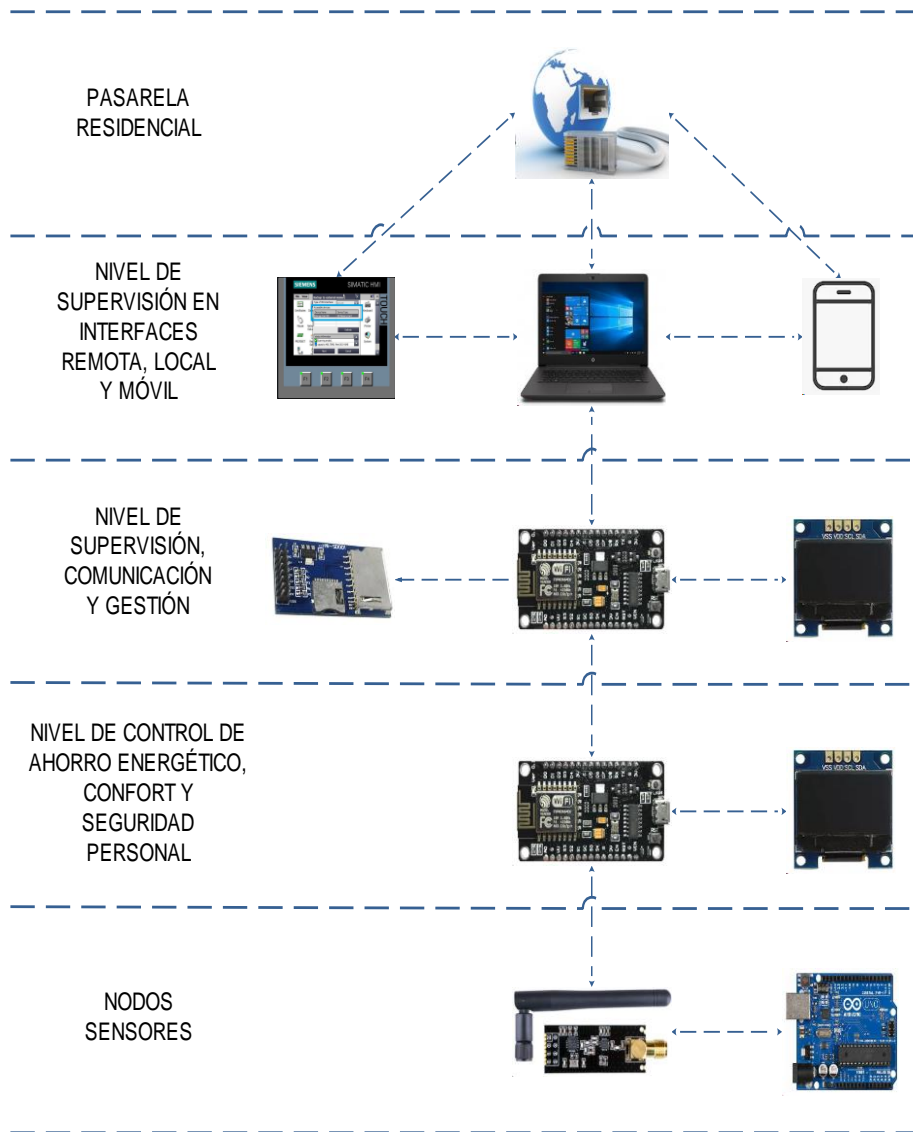


Figura 3.4: Arquitectura de control del sistema domótico

Fuente: Autor

A partir de la arquitectura de control del sistema domótico se procede a desarrollar la arquitectura de control tipo pizarra que es la que se enfoca este trabajo de investigación. Este nuevo diseño solo va a tener tres niveles para los subsistemas de gestión, control y nodos sensores como se muestra en la figura 3.5.

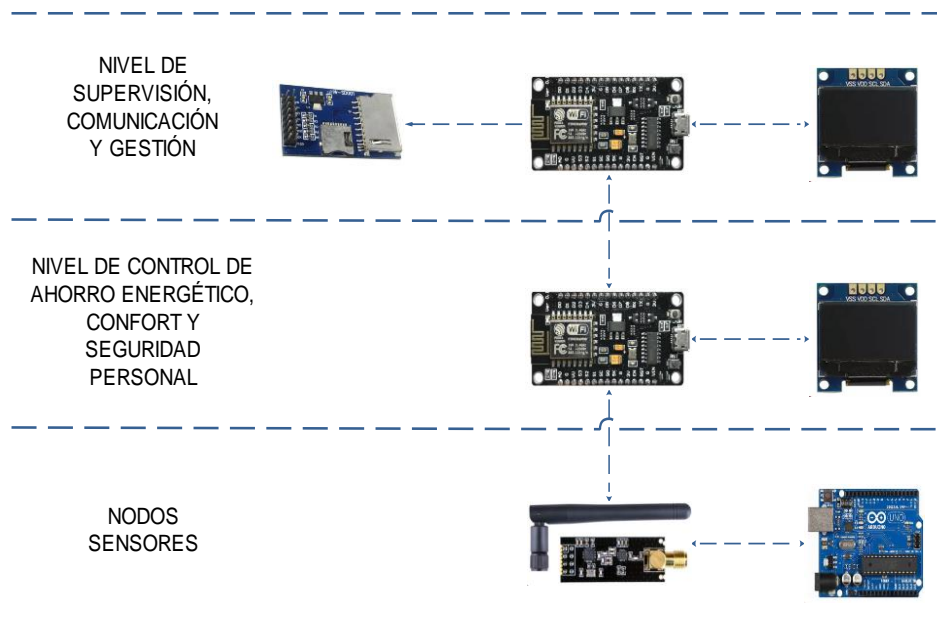


Figura 3.5: Arquitectura de control tipo pizarra

Fuente: Autor

3.2.2. Arquitectura hardware del subsistema de almacenamiento

El subsistema de gestión tiene dentro de su arquitectura hardware como elemento principal un microcontrolador de 32 bits modelo NodeMCU ESP8266. El módulo que se utiliza en este proyecto tiene la particularidad de realizar comunicación Wi-Fi con los demás subsistemas que se encuentran en la red, el lenguaje de programación que se utiliza para este dispositivo es C/C++ lo que permite que los códigos sean sencillos y de fácil entendimiento. A su vez la arquitectura dispone de un convertidor de señales analógicas a digitales (ADC) para que su lectura sea de forma binaria y entradas/salidas digitales (I/O).

Por otro lado, el microcontrolador se encuentra conectado a un módulo de memoria micro SD modelo HW-SD001 que permite almacenar la información que los subsistemas de control envíen luego de realizar las tareas que previamente se les haya designado. Se puede verificar que existe comunicación entre los subsistemas del área de gestión y de control a través de una pantalla gráfica de tipo SSD1306, por lo cual, se va a observar información en tiempo real. En la figura 3.6 se muestra de forma detallada la

arquitectura hardware del nodo de almacenamiento con sus respectivos elementos.

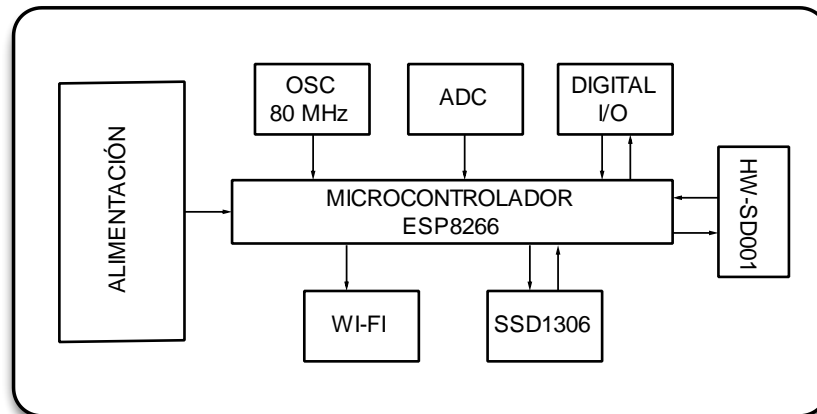


Figura 3.6: Arquitectura hardware del subsistema de almacenamiento

Fuente: Autor

3.2.3. Arquitectura hardware de los subsistemas de control

Básicamente los subsistemas de control poseen una arquitectura hardware similar con el subsistema de almacenamiento, pero con la diferencia que ninguno de estos nodos puede almacenar la información que ellos generan dentro de una memoria, puesto que, necesariamente deben enviarla al área de gestión para que realice esta acción. A su vez a esta arquitectura se le agrega un módulo de RF modelo NRF24L01 que va a permitir mantener comunicación con los nodos sensores en los que se encuentran los sensores/actuadores como se muestra en la figura 3.7.

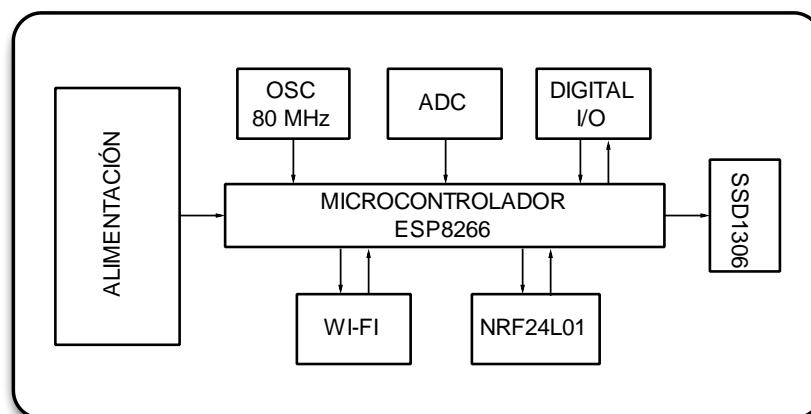


Figura 3.7: Arquitectura hardware de los subsistemas de control

Fuente: Autor

En la tabla 3.1 se van a especificar a los actores del subsistema de control según su función y las tareas específicas que deben realizar.

Tabla 3.1: Funciones y tareas de los actores del subsistema de control

ACTORES	FUNCIÓN	TAREAS
Subsistema de ahorro energético	Gestionar el ahorro de recursos del hogar: energía eléctrica y agua para no exceder en la planilla de consumo.	Control de las luminarias en su encendido/apagado.
		Regular la temperatura de los equipos de climatización según la cantidad de personas.
		Sistema de riego inteligente en el jardín en horas específicas.
Subsistema de confort	Proporcionar un ambiente físico agradable dentro del hogar a los usuarios de la vivienda de forma automatizada. Permite que el usuario realice tareas diarias de forma sencilla y rápida sin tener que manipular los equipos de la manera tradicional.	Control absoluto de las luminarias.
		Abrir/cerrar puertas de forma remota.
		Abrir/cerrar persianas de manera inalámbrica. Encender/apagar equipos de climatización a distancia.
Subsistema de seguridad personal	Gestionar la seguridad personal para los usuarios de la vivienda y sus bienes muebles.	Simulación de presencia cuando no se encuentren los usuarios en casa.
		Encender/ apagar alarmas de seguridad a distancia.
		Seguridad con sensores de movimiento infrarrojo.

Fuente: Autor

3.2.4. Arquitectura hardware del nodo sensor/actuador

Esta arquitectura tiene como protagonista principal a un Arduino UNO que funciona como nodo sensor y se encarga de controlar a los sensores y actuadores. Los sensores luego de obtener los parámetros físicos del

ambiente que son señales analógicas proceden a convertirlas a través de un ADC a señales digitales. Luego de realizar esta acción se procede a enviar los datos obtenidos mediante el módulo de radio frecuencia NRF24L01 que se encargará de mantener comunicación con su respectivo subsistema de control. Se debe tener en cuenta que se posee tres agentes de control diferentes por lo que su sensor se encargará específicamente de controlar una acción en concreto. En la figura 3.8 se observa la arquitectura hardware del nodo sensor actuador del sistema propuesto en este trabajo de investigación.

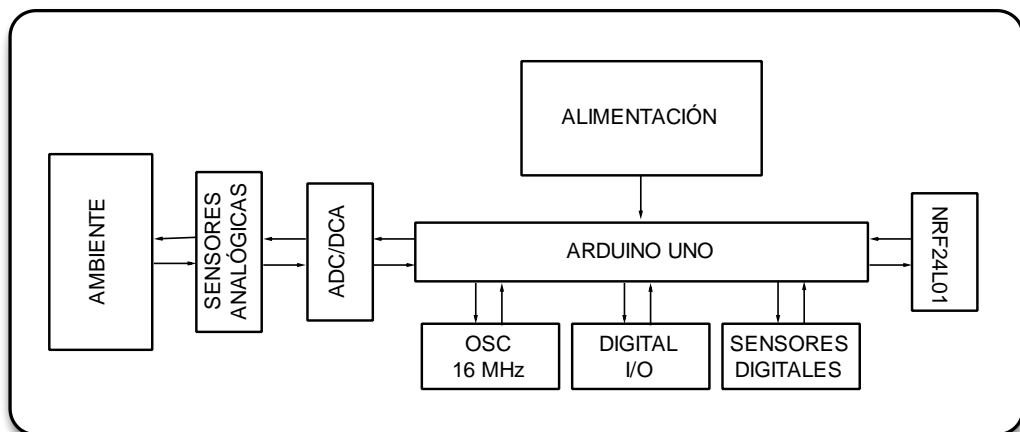


Figura 3.8: Arquitectura hardware del nodo sensor/actuador

Fuente: Autor

3.3. Diseño de la arquitectura multi-agente

A partir de la arquitectura de control domótico planteado en los párrafos anteriores y considerando las arquitecturas hardware de los subsistemas de gestión y control, y los nodos sensores, se propone una arquitectura basada en SMA. Según (Aguilar et al., 2013) en su estudio, expresa que un agente inteligente se califica como un ente virtual o físico que domina sus propios recursos, además, tiene la capacidad de mantener comunicación con diferentes agentes. Asimismo, posee la característica de interactuar con su ambiente y la cualidad de cumplir tareas asignadas para lograr sus funciones y objetivos. En la tabla 3.2 se muestra la conversión de un subsistema a un agente inteligente. En adelante solo se va a referir a este nuevo término que es el que se enfoca este tema de investigación.

Tabla 3.2: Conversión de un subsistema a un agente inteligente

SUBSISTEMA	AGENTE INTELIGENTE
Subsistema de almacenamiento	Agente de almacenamiento
Subsistema de ahorro energético	Agente de ahorro energético
Subsistema de confort	Agente de confort
Subsistema de seguridad personal	Agente de seguridad personal
Nodos sensores	Pseudo-agentes

Fuente: Autor

En la figura 3.9, se puede observar la arquitectura multi-agente, planteada a partir de la arquitectura de control domótico. El agente de almacenamiento que va a ser un agente de gestión está a cargo de monitorear y gestionar las acciones que realicen los agentes de control de ahorro energético, confort y seguridad personal. La comunicación entre estos dos tipos de agentes será Wi-Fi debido a que su módulo tiene esta propiedad. Por otro lado, los agentes de control tienen tareas que están basadas en función a los sensores que van a tener disponibles y que estos van a estar comunicados por RF.

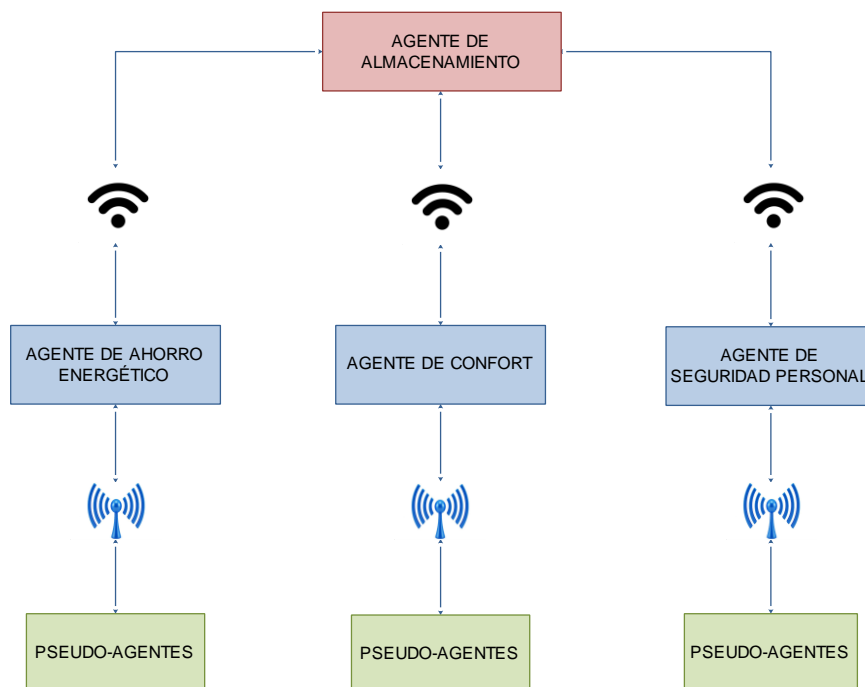


Figura 3.9: Arquitectura multi-agente del sistema planteado

Fuente: Autor

A continuación, se expone en la tabla 3.3 los diferentes agentes con sus respectivos sensores y actuadores que junto con los pseudo-agentes integrarán un determinado agente de control. Estos dispositivos van a adquirir los datos del ambiente para poder enviarlos a su agente determinado según las tareas que deben realizar. Además, se detalla al agente de almacenamiento el cual va a estar en el nivel de gestión almacenando los datos antes mencionados.

Tabla 3.3: Sensores y actuadores de los agentes inteligentes

AGENTES INTELIGENTES	SENSORES	ACTUADORES
Almacenamiento	-	Tarjeta de almacenamiento
Ahorro energético	Módulo sensor de movimiento HC-SR501	Encendido de lámparas por presencia
Confort	Detector crepuscular	Control automático de luminarias
Seguridad personal	Módulo sensor de infrarrojo emisor y receptor IR FC-51	Indicadores visuales de luces de aviso de emergencia

Fuente: Autor

3.4. Diseño de la arquitectura pizarra distribuida

En base a los acápites anteriores sobre la arquitectura de pizarra distribuida de un SMA, se propone una nueva arquitectura que de soporte a este trabajo de investigación y de esta forma sea la base para el desarrollo de los diferentes modelados UML Y RdP.

Según (Canedo et al., 2019) en su aporte determina que en los SMA se cuenta con un excelente método de comunicación que permite la interacción entre ellos denominado sistema pizarra. Esta técnica permite la solución de problemas a través de determinados trabajos que serán divididos a la agrupación de subsistemas denominados agentes inteligentes. El sistema de comunicación antes mencionado cuenta de tres elementos fundamentales que se describen a continuación:

- Fuente de conocimientos: Asisten a la solución del problema a través de parámetros, estrategias, o algún tipo de algoritmo.
- La pizarra: Constituye la fuente de información, la cual utiliza algún tipo de algoritmo para su almacenamiento y recuperación de la información.
- Sistema de control: Se encarga del control de las fuentes de conocimiento, gestionando, organizando y arbitrando el uso de los recursos disponibles.

Dicho esto, se realiza una arquitectura deliberativa (BDI) que facilite la comunicación tipo pizarra distribuida del agente de almacenamiento, es decir, que este método va a servir para cumplir con los parámetros de inteligencia artificial distribuida (IAD).

En la figura 3.10 se observa que la arquitectura se divide en dos partes; en el conjunto señalado por un cuadro se encuentran todos los elementos que conforman el agente de almacenamiento y fuera de él solo se encuentran los agentes de control porque la pizarra no mantiene interacción con el entorno mientras que los otros sí a través de los pseudo-agentes.

El funcionamiento de este sistema empieza con los agentes de control que envían la información a la pizarra quien se encarga de guardarlos en la base de datos manteniendo una comunicación bidireccional, con la capacidad de recibir y guardar información cuando lo desee. Como siguiente paso se tiene que los datos que la pizarra obtiene los envía al sistema de control también conocido como intérprete quien a su vez comparte de forma bidireccional la información con la fuente de conocimientos que sería el primer elemento BDI denominado creencias. En base a esta gestión el intérprete continúa la comunicación con el banco de objetivos que es el segundo elemento BDI y el encargado de retroalimentar la información con el sistema de control.

Siguiendo el diseño se pasa al banco de filtrado, el cual mantiene comunicación continua con el banco de conocimiento, se realiza la selección de los planes para la ejecución de las acciones que son requeridas para el cumplimiento de las tareas. Como siguiente paso se tiene la deliberación de

planes que es el tercer elemento BDI denominado intenciones, en este punto se va a realizar un análisis final de las tareas a ejecutar lo cual conlleva a la toma de acciones por parte del agente de control.

En este modelo de arquitectura de tipo pizarra distribuida se garantiza que las acciones que vayan a tomar los diferentes agentes de control van a ser realizadas de forma ágil manteniendo la comunicación entre ellos a través de la pizarra. Los agentes en mención al poseer inteligencia artificial son autónomos, a su vez pueden mantener comunicación entre ellos para ayudarse cuando lo necesiten y que así se pueda resolver cualquier inconveniente por más complejo que se presente.

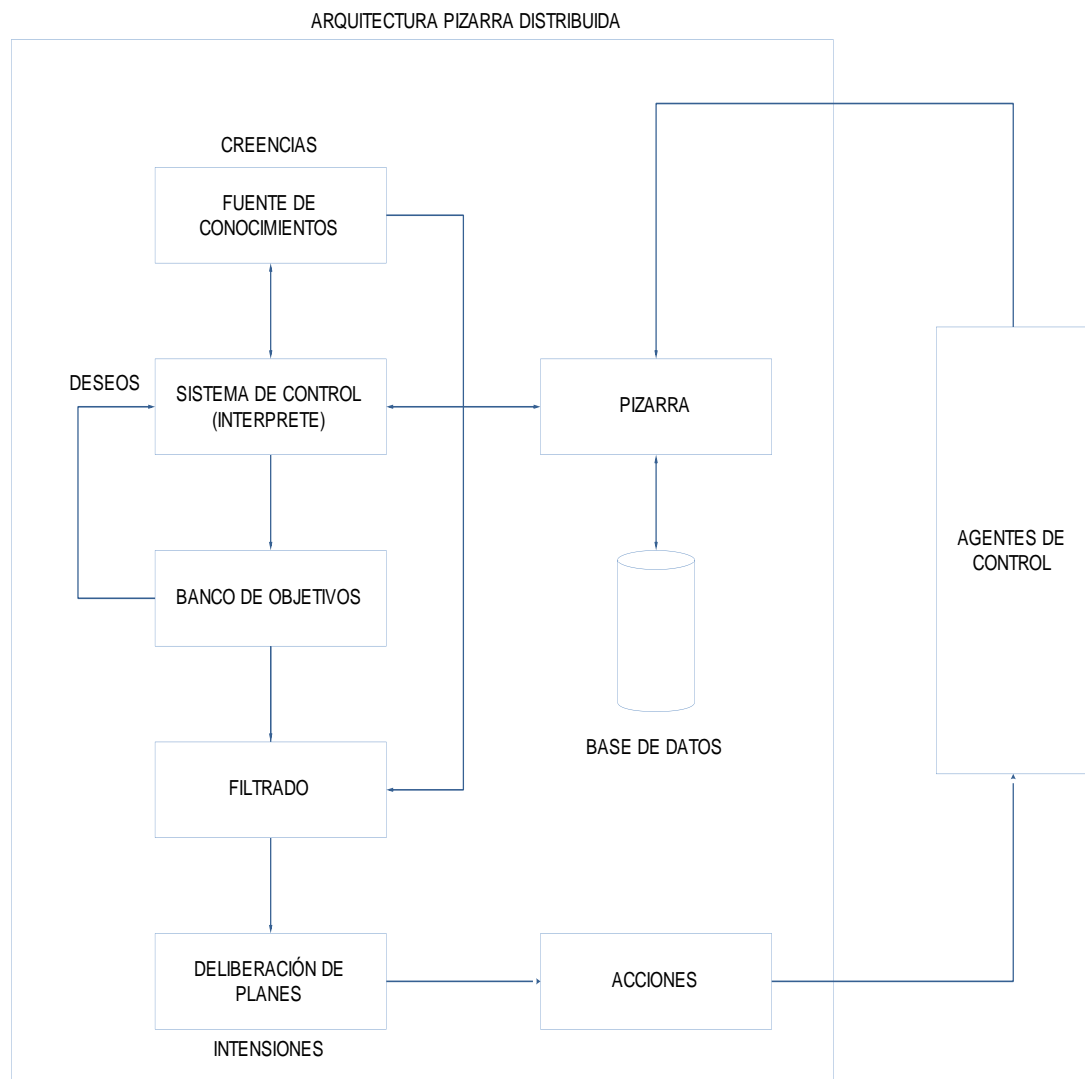


Figura 3.10: Arquitectura pizarra distribuida

Fuente: Autor

3.5. Modelado UML de arquitectura pizarra distribuida

En este apartado se va a elaborar el modelado UML de la arquitectura pizarra distribuida. EL modelado UML permite establecer las características del programa que debe de implementarse para el agente inteligente, proporcionando la información suficiente para su programación. Dentro de los casos de usos en este trabajo de investigación se van a utilizar los diagramas de casos de uso, secuencias y estados.

En los siguientes acápites se va a desarrollar cada uno de ellos en el cual se determina los actores, sistemas, secuencias de actividades para garantizar el correcto funcionamiento de la arquitectura propuesta. El desarrollo de estos modelos representa una pieza fundamental para este trabajo debido a que se tiene una mejor perspectiva del funcionamiento que va a permitir implementar el diseño de forma segura, minimizando errores.

3.5.1. Diagrama de casos de uso

En este diagrama se designan los diferentes actores con sus respectivas acciones también conocidas como casos de uso, el cual se deben cumplir dentro de un sistema que en esta ocasión lleva el nombre de arquitectura pizarra distribuida. Los actores que se nombran en este modelo son los agentes pizarra, ahorro energético, confort y seguridad personal, son denominados de esta manera porque ellos van a hacer uso de la pizarra.

Cabe recalcar que se ha dispuesto añadir el agente pizarra como un actor a pesar de ser el mismo sistema ya que en este caso será catalogado como autoagente capaz de realizar acciones que él mismo se va a solicitar.

En la figura 3.11 se observa el diagrama de casos de usos de la arquitectura pizarra distribuida que se explica a continuación:

- Gestionar la información de sensores/actuadores: Este caso de uso se asocia con el actor agente pizarra que se encarga de gestionar la información que es enviada por los agentes de control luego de haber cumplido con las tareas que se les fueron solicitadas a través de la pizarra. A su vez, esta información es almacenada en una base de datos y se utiliza el caso de uso “Guardar la información de los agentes de ahorro energético, confort y seguridad personal” que se incluye a

través de la función <<include>> que significa que un caso de uso puede estar conteniendo a otro.

- Gestionar la información de la red de comunicación: Esta función de caso de uso está asociada con el agente pizarra el cual hará que solicite información a supervisión, al agente de comunicaciones y al agente de interfaz de la información de ellos. De los antes mencionados resalta al agente de comunicación porque va a permitir ver los parámetros de la red de comunicaciones, velocidad de transferencia, coberturas y todos los datos de la red de comunicaciones Wi-Fi entre los agentes inteligentes.
- Recibir solicitudes de sensores/actuadores: Para este caso de uso se tiene a tres actores que son ahorro energético, confort y seguridad personal. Para adquirir estos valores los agentes de control mantienen contacto con los pseudo-agentes que son aquellos que envían los datos a los agentes antes mencionados según su requerimiento.
- Envía las variables de agente de ahorro energético: Este caso de uso se asocia específicamente con el actor de su mismo nombre. El agente de ahorro energético luego de mantener comunicación con su pseudo-agente obtiene la información que se le ha solicitado por parte del agente de gestión, el cual debe ser enviada para que la pueda gestionar y posterior a esto almacenarla en una base de datos.
- Envía las variables de agente de confort: Este caso de uso se asocia con el agente de confort que cumple en enviar la información que se le ha sido solicitada por el agente pizarra una vez que la reciba de parte de su respectivo pseudo-agente.
- Envía las variables de agente de seguridad personal: El agente de seguridad personal se asocia con este caso de uso, que al igual que los demás agentes de control se encarga de enviar información de las tareas realizadas. El agente de gestión recibe esta información, la gestiona y finalmente la almacena para ser revisada cuando se desee.

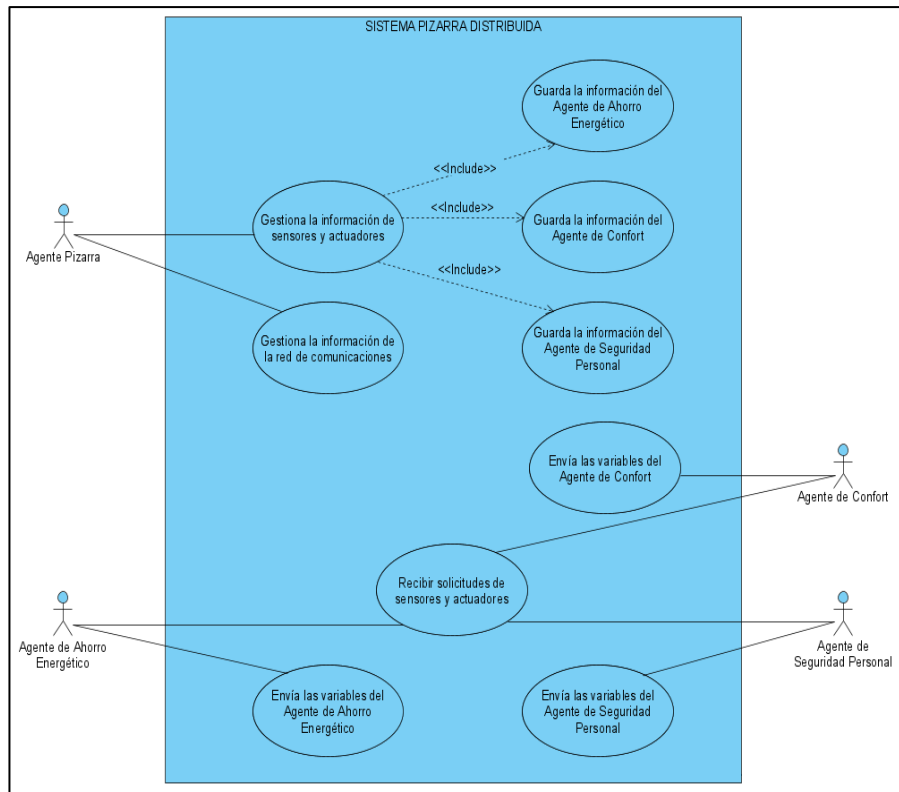


Figura 3.11: Diagrama de casos de uso de la arquitectura pizarra distribuida

Fuente: Autor

3.5.2. Diagrama de secuencias

El diagrama de secuencias se utiliza para modelar interacciones entre objetos permitiendo mostrar en orden cronológico los eventos que suceden en un sistema. Al realizar este modelo se obtiene una visión general de los eventos, además, mediante líneas se muestran los mensajes que se envían para mantener la comunicación e ir cumpliendo cada una de sus funciones.

El diagrama de secuencias de la arquitectura pizarra distribuida cuenta con los mismos actores que el modelo anterior. El sistema empieza con cargar las configuraciones en el cual el agente pizarra ejerce la comunicación entre todos los agentes de control que lo conforman y así intercambiar información. Los agentes de ahorro de energía, confort y seguridad personal son los encargados de recolectar los datos a través de los pseudo-agentes. Estos tres agentes poseen el conocimiento de sus tareas desde el inicio debido a que cuentan con un microcontrolador con su programación, esta característica permite que el sistema sea de IAD. Continuando con el proceso se tiene a la

pizarra que empieza en solicitar información de sensores y actuadores del primer agente que es de ahorro energético y este a su vez responde enviando la información que le es requerida. Una vez que la pizarra recibe los datos procede a guardar los valores de ese agente inteligente. El agente de gestión procede a efectuar el mismo proceso con los dos agentes restantes, pero uno a la vez para evitar posibles cuellos de botella que impidan que los datos lleguen a su destino.

Al terminar estas acciones el sistema continúa con al agente de ahorro energético que solicita al agente pizarra nuevos datos y de la misma forma responden a este requerimiento. Este proceso se repite con los agentes de control restantes para que la comunicación sea constante. La secuencia que tiene este sistema se observa de forma detalla en la figura 3.12.

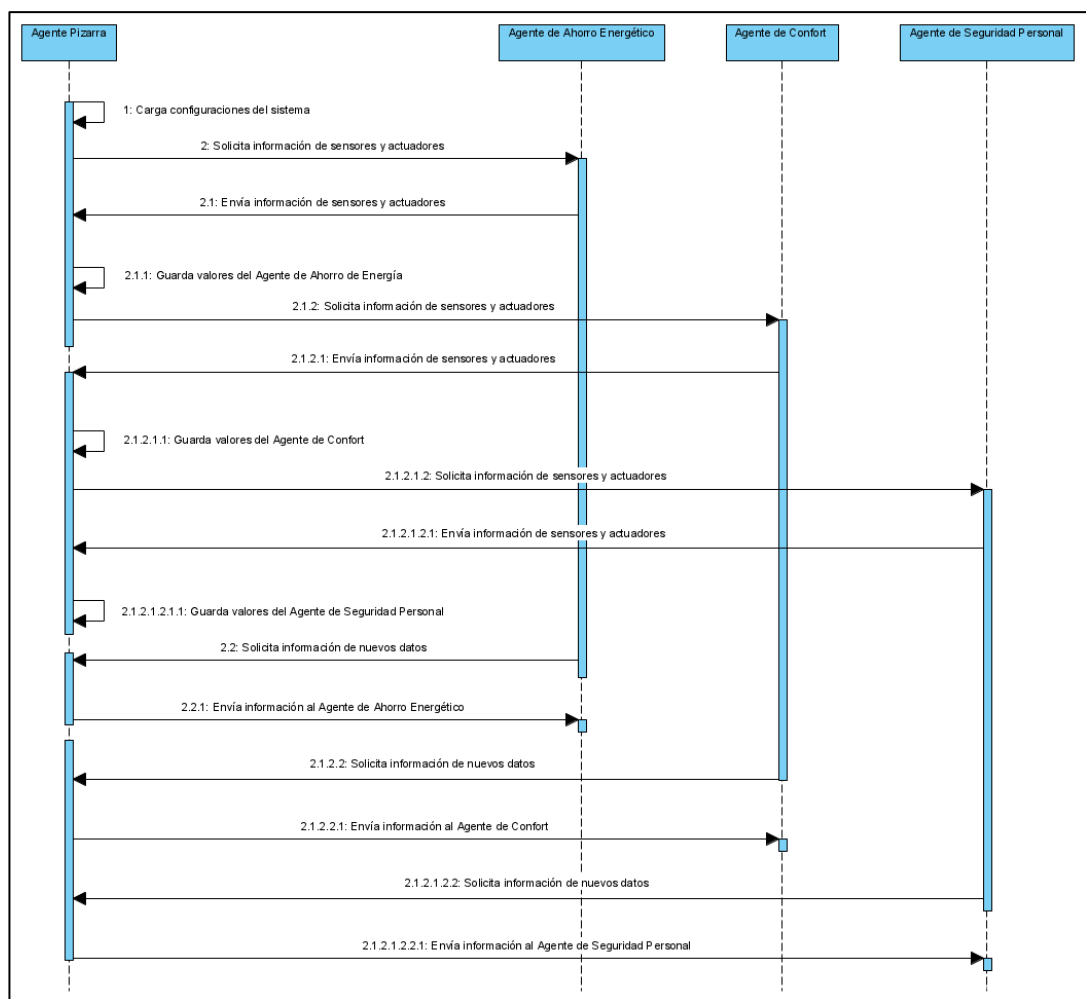


Figura 3.12: Diagrama de secuencias de la arquitectura pizarra distribuida

Fuente: Autor

3.5.3. Diagrama de estados

En este diagrama UML se muestra los diferentes estados por los que va a pasar el sistema ejecutando cada una de sus acciones. Este modelo tiene dos elementos fundamentales que son los estados representados por un rectángulo y las transiciones por una flecha. En la figura 3.13 se muestra el diagrama de estados de la arquitectura pizarra distribuida con sus actores que son los agentes inteligentes.

A continuación, se detalla paso a paso cada uno de los estados con sus respectivas transiciones:

- Pizarra cargando configuraciones del sistema: Los estados empiezan en cargar las configuraciones que va a permitir que el sistema tenga conocimiento de lo que debe realizar para su correcto funcionamiento. Aquí se inicia la comunicación e intercambio de información el agente de gestión y los agentes de control de ahorro energético, confort y seguridad personal, quienes realizan la recolección de información por parte de sus pseudoagentes.
- Agente pizarra solicitando valores de sensores a agentes de ahorro energético, confort y seguridad personal: El agente pizarra comienza a solicitar la información que debe ser proporcionada por los agentes de ahorro energético, confort y seguridad personal respectivamente. En la transición de estados los agentes de control responden a dicha solicitud.
- Agente pizarra guardando valores de agentes de ahorro energético, confort y seguridad personal: En este estado se ejecuta el almacenamiento de los datos que han sido proporcionados por los agentes de control que a su vez fueron obtenidos del ambiente.
- Agente pizarra actualizando valores e iniciando la interacción entre los demás agentes: en este estado la pizarra empieza a enviar nuevos datos y empezar los actos del habla entre los agentes de control para que puedan ayudarse entre ellos y cumplir la tarea que se les presente.

- Agente de ahorro energético, confort y seguridad personal solicitando datos a agente pizarra: Luego de que los agentes de control culminen sus tareas y envíen sus datos por primera vez, la pizarra continúa con la interacción entre ellos para generar actos del habla y de este modo realizar nuevas obligaciones. Por esto los agentes que se encargan de recolectar información solicitan nuevos datos al agente de gestión para que continúen con el funcionamiento del sistema.
- Agente pizarra gestionando información recibida de agentes de ahorro energético, confort y seguridad personal: El estado tiene la funcionalidad de gestionar la información que recibe por parte de los agentes de control. El agente pizarra revisa los datos que necesita y luego procede al almacenamiento para cuando sean requeridos nuevamente.

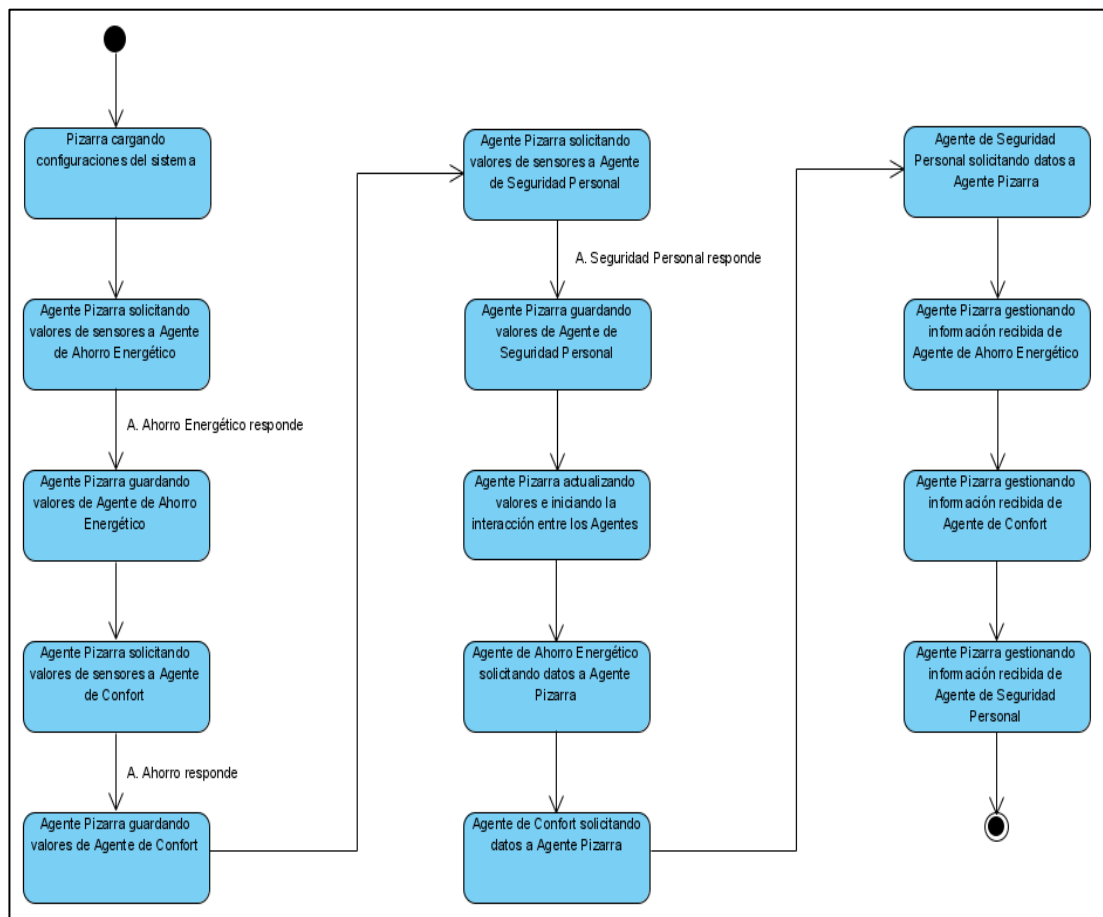


Figura 3.13: Diagrama de estados de la arquitectura pizarra distribuida

Fuente: Autor

3.6. Diseño de RdP de la arquitectura pizarra distribuida

Las RdP son un modelado gráfico que permite representar de manera formal sistemas de eventos discretos. Esta característica permite tener una mejor visión del sistema que se propone ya que al implementarlo se identifica la concurrencia de eventos y a través de sus propiedades se puede garantizar la funcionalidad y robustez del sistema. En este trabajo de investigación se propone la arquitectura pizarra distribuida de un SMA que se encuentra dentro del estudio de la IAD. Este diseño se basa de los tres casos de uso que se analizó en acápite anteriores, pero con las reglas de funcionamiento que tiene las RdP el cual cuenta con diferentes elementos tales como lugares, transiciones, arcos con sus pesos y las marcas.

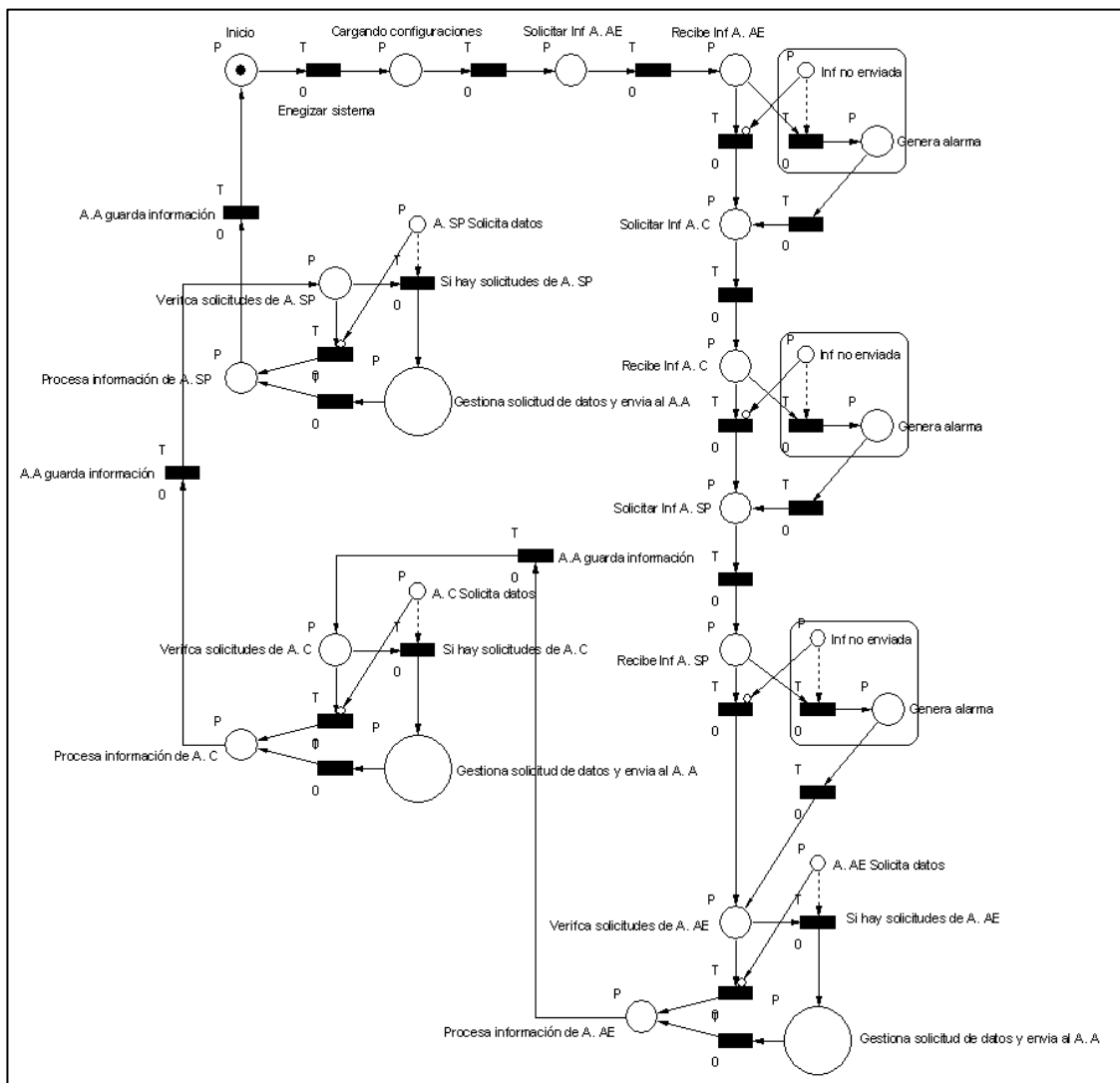


Figura 3.14: RdP de arquitectura pizarra distribuida simulado en VisObjNet

Fuente: Autor

En la figura 3.14 se muestra el modelado desarrollado en el software Visual Object Net, la misma que está conformada por seis acciones externas simbolizadas por un círculo de menor tamaño que los demás, además cuenta con quince lugares representados por un círculo de tamaño original del programa y finalmente tres subsistemas que son diferenciados por ser el círculo de mayor tamaño. Cada uno de estos lugares representa una acción que va a ser ejecutada por el sistema a lo largo de su trayecto paso a paso por medio de las transiciones que en ocasiones también tendrá que desarrollar tareas específicas. Por otro lado, un subsistema tiene la particularidad de efectuar varias tareas dentro de él.

La RdP de arquitectura pizarra distribuida empieza con el primer lugar denominado “Inicio” que es donde el token se ve señalado. Siguiendo con el desarrollo de la red se tiene que la primera transición permite energizar el sistema y dar paso al lugar “Cargando configuraciones” que es cuando cada agente tiene conocimiento de sus actividades previamente programadas. Luego, el Agente de almacenamiento solicita información al de ahorro energético y este a su vez recibe ese requerimiento en el siguiente lugar pasando por una transición. De no ocurrir ningún inconveniente, el siguiente lugar estaría determinado por “Solicitar información a agente de confort” pero si en algún caso el requerimiento no es recibido y ocurre un problema el agente de ahorro energético tiene una acción externa que genera una alarma, permitiendo que el flujo continúe. El mismo proceso antes detallado incluyendo lo de la alarma se repite para los otros agentes de control debido a que cumplen con las mismas funciones de comunicación a excepción que cada uno tiene parámetros específicos que determinar.

Siguiendo con el desarrollo se presenta el lugar “Verifica solicitudes de agente de ahorro energético” el cual identifica si existen solicitudes de nueva información por parte del agente de control, en caso de necesitarla se cuenta con una función externa que permite gestionar los datos y enviar al agente de almacenamiento para que posteriormente sean procesados, en caso de no requerir solicitudes por parte del agente de control el proceso continúa directamente al siguiente lugar denominado “Procesamiento de información” a través de una sola transición, posterior a ello se encuentra la transición

encargada de guardar dicha información. El flujo antes mencionado en este párrafo se repite para los agentes de control restantes, lo que conlleva a volver al lugar de inicio para continuar con el mismo proceso.

3.6.1. Matrices de RdP de la arquitectura pizarra distribuida

Para obtener las matrices de la RdP propuesta se utilizó el software PIPE la cual facilita obtener resultados seguros y conocer el correcto funcionamiento de la red que se propone. Esta herramienta principalmente permite verificar si la red es limitada, segura o posee puntos muertos. A continuación, se muestran las matrices obtenidas de la RdP de arquitectura pizarra distribuida:

- Incidencia y marcado (Incidence & Marking): En la matriz de inhibición H de la figura 3.15 se observa que la RdP propuesta cumple como una red binaria, es decir, garantiza que en ningún momento del proceso de secuencia se va a tener más de una marca dentro de un lugar. Los resultados presentados en la matriz se interpretan como uno si el lugar está ocupado y cero si está vacío de acuerdo al lugar y transición específica. En caso de presentar un número diferente a los antes mencionados la red dejaría de ser segura debido a que se incumple la propiedad de limitación.

		Inhibition matrix H																											
		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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	0	0
P32		0	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	0
P4		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	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	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	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	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	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	0	0

Figura 3.15: Resultados de la matriz de inhibición H

Fuente: Autor

- Matriz de marcado (Marking): En la matriz de la figura 3.16 se observa el marcado inicial y actual que tiene la red en su simulación. Al verificar las marcas se denota que al empezar el proceso se tienen tokens en diferentes lugares divididos en dos grupos: El primero considera a P0 como el inicio del sistema y el segundo conformado por P4, P7, P10, P21, P30 y P31 como marcas iniciales que cumplen ciertos procesos de acciones externas.

		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	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	

Figura 3.16: Resultados de la matriz de marcado

Fuente: Autor

- Transiciones habilitadas (Enabled transitions): Se tiene como única transición habilitada a T0 porque el lugar que le precede es P0, es decir, el inicio del sistema el cual tiene una marca inicial tal como se muestra en la figura 3.17.

		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

Figura 3.17: Resultados de las transiciones habilitadas

Fuente: Autor

- Análisis del espacio de estados (State Space Analysis): En este análisis se pueden obtener los resultados para determinar si la red de estudio cumple con las propiedades de limitación, seguridad y si posee puntos muertos. En la figura 3.18 se observa el cuadro de propiedades de PIPE, programa que se utilizó para obtener las matrices de la red de Petri y el análisis del espacio de estados. Se tiene que la RdP cumple con la propiedad de limitación ya que da como resultado verdadero. Esto hace referencia a que en un lugar solo puede existir un token a la vez exceptuando las marcas iniciales que fueron colocadas en los lugares que corresponden a las acciones externas. Además, se conoce que la red es segura porque cumple con la propiedad de alcanzabilidad

que se encarga de asegurar que en algún momento de la simulación todos los lugares van a ser alcanzados por una marca y no quedará ninguno en blanco. Por otra parte, se conoce que la red es viva ya que el resultado fue falso, es decir, que no se encuentran puntos muertos dentro de la red, ya que caso contrario se producirían lazos infinitos lo que ocasiona que el sistema quede inhibido. Es necesario destacar que la vivacidad hace referencia a la ausencia total de puntos muertos en el funcionamiento del sistema.

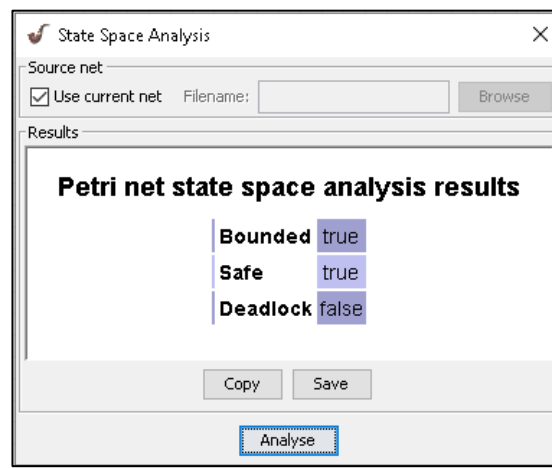


Figura 3.18: Resultados del análisis de propiedades estructurales del programa PIPE

Fuente: Autor

Por último, gracias al análisis de todos los resultados se puede asegurar que la RdP propuesta es confiable y cumple con todos los requerimientos para su correcto funcionamiento.

3.7. Implementación del sistema de comunicación de pizarra distribuida

Luego de desarrollar la parte teórica del trabajo de investigación se procede a la implementación para corroborar que todo lo propuesto se cumple y funciona de forma óptima. Se realizaron diferentes diseños de arquitecturas previo a la obtención del diagrama definitivo que sirvió como base para el modelado UML y RdP que refleja lo que va a realizar cada elemento. En la ejecución práctica se pretende analizar la comunicación domótica multi-agente a través de una arquitectura de tipo pizarra distribuida. Los actores principales de este tema son los agentes inteligentes que serán controlados

por el agente de gestión que actúa como la pizarra y los de control que están a cargo de los pseudo-agentes.

3.7.1. Agente de almacenamiento

El agente de almacenamiento dentro del sistema es considerado como el nodo principal debido a que es el encargado de mantener la comunicación entre todos los agentes de control y sirve como pizarra para que la información fluya a través de él. Este agente no controla ningún pseudo-agente porque su función se centra en enviar datos, recibirlos y almacenarlos en una memoria para que sean utilizados cuando se requiera.

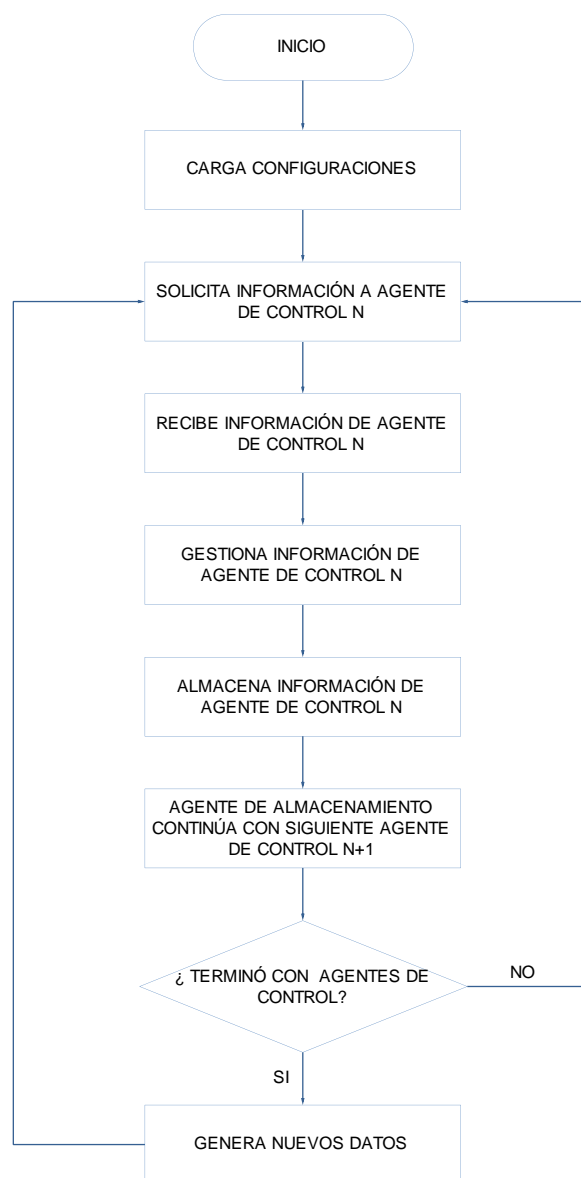


Figura 3.19: Diagrama de flujo de funcionamiento del agente de almacenamiento

Fuente: Autor

En la figura 3.19 se observa el diagrama de flujo del agente de almacenamiento con su respectiva secuencia que inicia y carga sus configuraciones para solicitar información al primer agente de control. Se comunica de forma secuencial para evitar que exista un colapso de datos al formarse el cuello de botella. Una vez que el agente de gestión interactúa con el primer agente de control, recibe la información que él provee para gestionarla y almacenarla en su base de datos. Terminada esta acción se procede con el siguiente agente de control que se encuentra en la parte heterárquica hasta que interactúa con todos, luego, el agente de almacenamiento genera nuevos datos de las tareas realizadas para seguir con el funcionamiento del sistema. Este agente en específico permite la interacción de información entre los agentes de control lo que lo pone en la parte jerárquica de la arquitectura.

3.7.1.1. Conexiones del agente de almacenamiento

Para que el agente funcione de manera óptima se presentan las conexiones en un diagrama esquemático que permite conocer mejor cada enlace de los pines para lograr realizar la implementación física de forma sencilla y sin inconvenientes. Ver figura 3.20

- NodeMCU ESP8266: Este microcontrolador es el elemento principal del agente y contiene la programación de acciones que deben realizar los dos dispositivos restantes. Se comunica por medio de Wi-Fi y actúa como pizarra con los agentes de control que son quienes le obedecen y responden a sus solicitudes.
- Pantalla OLED modelo SSD1306: A través de este dispositivo se puede observar la transferencia de los valores generados por la comunicación multi-agente.
- Lector de memoria modelo HW-SD001: Se encarga de almacenar o enviar los datos adquiridos por cada agente de control. Contiene una memoria micro SD extraíble en la que se puede observar la información en otro dispositivo cuando se desee.

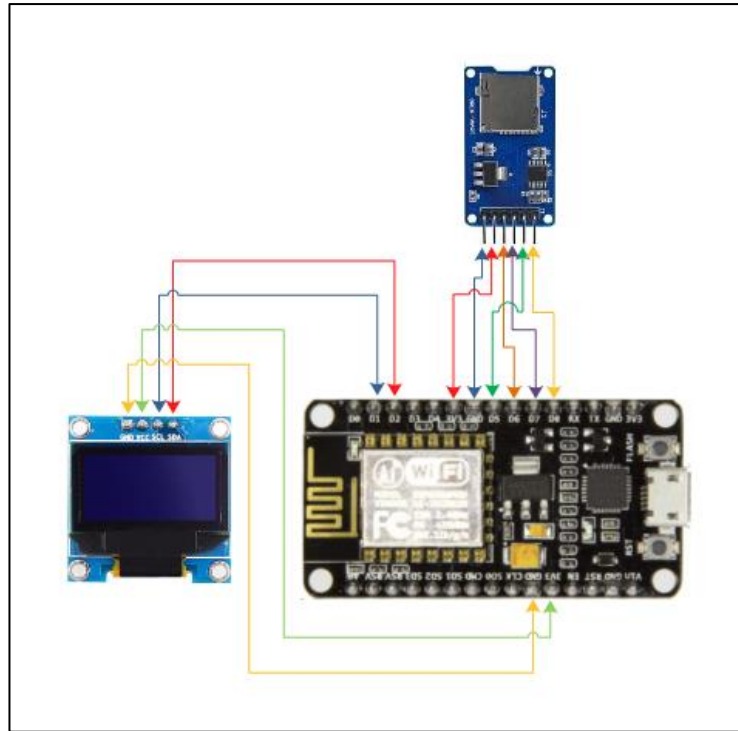


Figura 3.20: Diagrama esquemático de conexiones del agente de almacenamiento

Fuente: Autor

En la tabla 3.4 se muestran las conexiones de los pines de los dispositivos. Cada pin está programado para cumplir una función dentro del sistema por lo que si se conecta de forma diferente no va a funcionar como se espera ya que se altera la programación.

Tabla 3.4: Conexiones del agente de almacenamiento

CONEXIONES DEL AGENTE DE ALMACENAMIENTO		
ESP8266	SSD1306	HW-SD001
3VC	VCC	VCC
GND	GND	GND
D1	SCL	-
D2	SDA	-
D5	-	SCK
D6	-	MOSO
D7	-	MOSI
D8	-	CS

Fuente: Autor

3.7.1.2. Implementación física del agente de almacenamiento

La implementación física del sistema se realiza en un protoboard, que es una placa que sirve para conectar elementos electrónicos. Cada agente de la arquitectura pizarra distribuida va a tener una placa con su respectivo nombre en la que se procede a insertar cada elemento y realizar sus conexiones con cable UTP.

El modelo propuesto es energizado de dos maneras; la primera es a través de un cable micro USB conectado a un ordenador y la segunda directamente a la toma corriente por medio de un transformador de dispositivo móvil. En ambos casos va a proporcionar 5VDC al NodeMCU ESP8266 que va a servir para alimentar la pantalla OLED y el lector de memoria ya que los pines VCC y 3V3 están conectados entre sí. En la figura 3.21 se observa la propuesta del agente de almacenamiento de este proyecto de investigación.



Figura 3.21: Implementación física del agente de almacenamiento

Fuente: Autor

3.7.2. Agentes de control

Los agentes de control son los encargados de obtener datos del ambiente a través de los pseudo-agentes. Estos agentes se localizan en la parte heterárquica de la arquitectura controlados por el agente de almacenamiento que es quien genera las órdenes en el sistema. Cada agente de control conoce sus tareas debido a que se encuentran programadas en el microcontrolador y una vez que se obtiene los datos requeridos son enviados al área jerárquica para que sea gestionada y almacenada. En la figura 3.22 se observa el diagrama de flujo del funcionamiento del agente en mención.

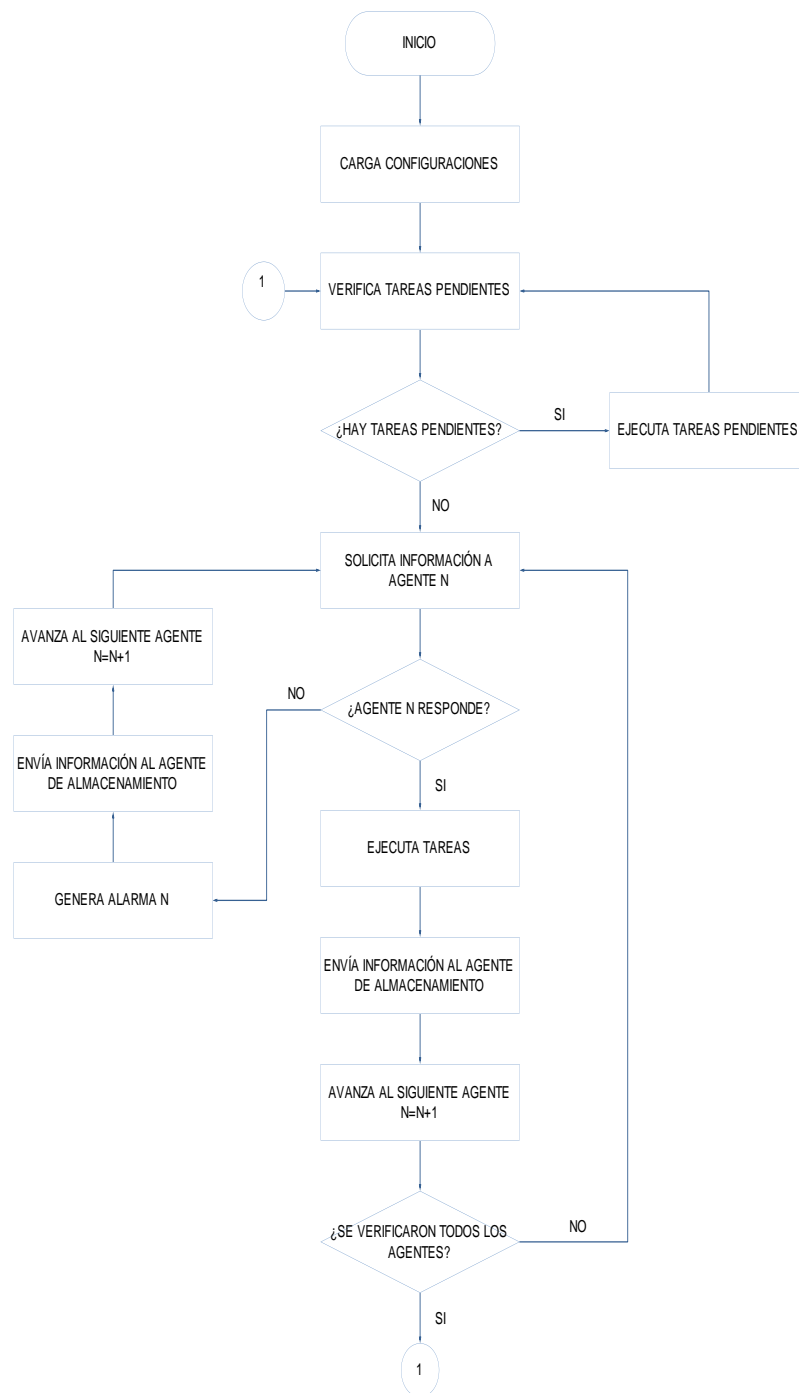


Figura 3.22: Diagrama de flujo de funcionamiento de los agentes de control

Fuente: Autor

El proceso inicia con cargar las configuraciones de cada agente de control ya que cada uno posee distintas obligaciones a realizar. Luego, verifica si tiene tareas pendientes y en el caso de existir las ejecuta, caso contrario continúa proceso solicitando información al agente N. Si del agente de control que se solicita información no se obtiene respuesta se genera una alarma el

cual envía esta acción al agente de almacenamiento para que tenga conocimiento y así solicite datos de otro agente $N=N+1$.

Si el flujo procede sin ninguna novedad el agente N ejecuta tareas para obtener la información que le es requerida y la envía a la sección de gestión y así termine su proceso para dar paso a otro agente. Para concluir el agente de almacenamiento verifica si ya todos los agentes de control han enviado la información que se les ha solicitado, si esto se cumple el proceso concluye y nuevamente se verifican tareas pendientes, pero si esto no fue realizado se procede a solicitar información al agente N.

Por otra parte, en la figura 3.23 se muestra el diagrama de flujo de los pseudo-agentes o también conocidos como sensores/actuadores, se encargan de interactuar directamente con el ambiente y obtener los datos que les son requeridos por un agente de control específico.

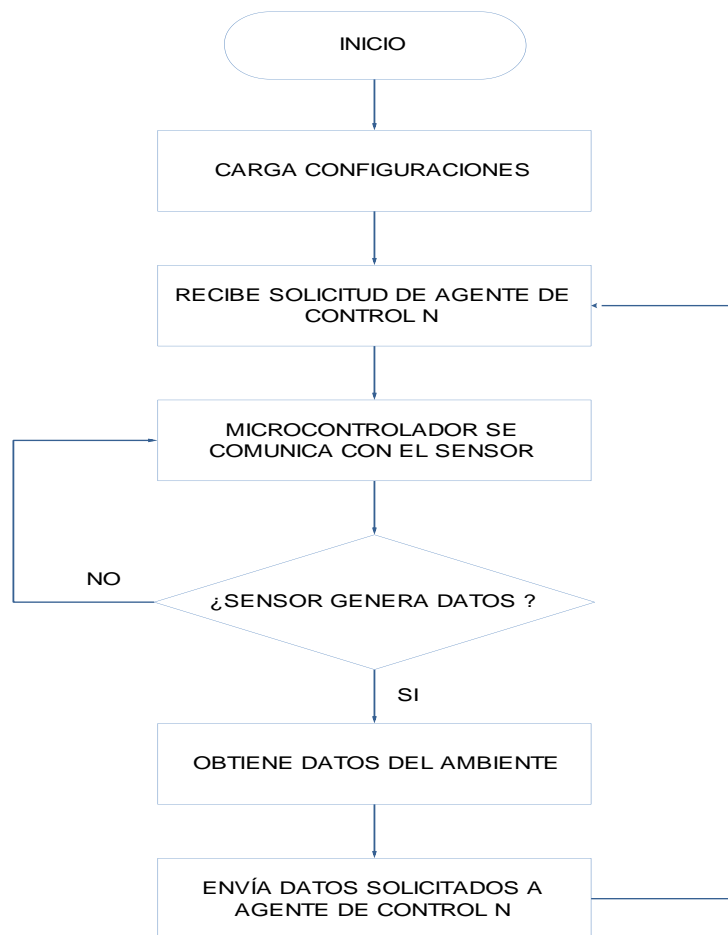


Figura 3.23: Diagrama de flujo de funcionamiento de los pseudo-agentes

Fuente: Autor

La secuencia empieza con cargar configuraciones programadas, luego se recibe solicitud de un agente de control N para que el microcontrolador obtenga los datos por parte del sensor específico dependiendo el agente que los solicite. Si el sensor no genera los datos el microcontrolador nuevamente entabla comunicación, caso contrario se obtiene los datos requeridos y se los envía al agente de control.

3.7.2.1. Conexiones generales de los agentes de control

Los elementos que conforman los agentes de control son similares al de almacenamiento con la diferencia que se excluye el lector de memoria modelo HW-SD001y se añade el transceptor NRF24L01 que permite la comunicación a través de RF con los pseudo-agentes. Se tiene el diagrama esquemático de este agente tal como se muestra en la figura 3.24 para conocer las conexiones entre los pines de todos los elementos que conforman estos agentes.

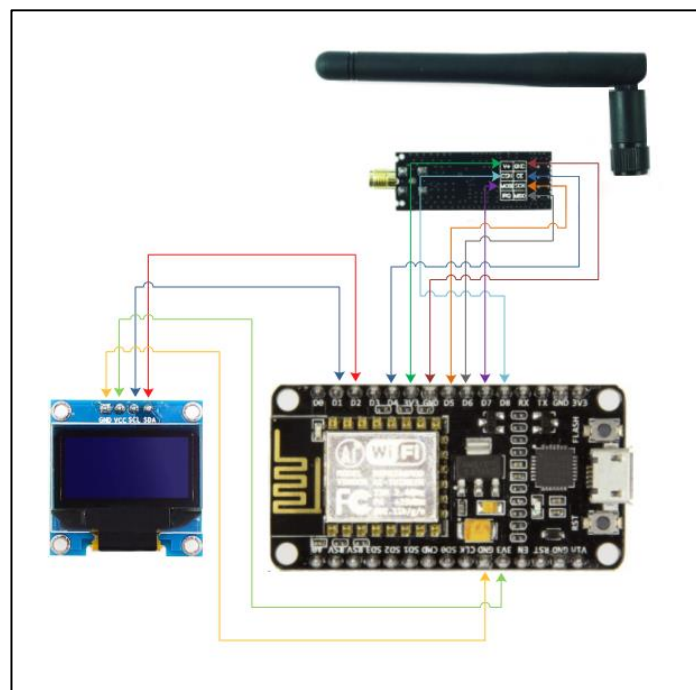


Figura 3.24: Diagrama esquemático de conexiones de los agentes de control

Fuente: Autor

A continuación, se muestra la tabla 3.5 donde se observan las conexiones de los dispositivos que conforman los agentes de control. Resalta que el SSD1306 y NRF24L01 están conectados al módulo ESP8266 que es considerado como el elemento principal del agente de control.

Tabla 3.5: Conexiones de los agentes de control

CONEXIONES DE LOS AGENTES DE CONTROL		
ESP8266	SSD1306	NRF24L01
3VC	VCC	V+
GND	GND	GND
D1	SCL	-
D2	SDA	-
D4	-	CE
D5	-	SCK
D6	-	MISO
D7	-	MOSI
D8	-	CSN

Fuente: Autor

Por otro lado, los pseudo-agentes están compuestos por dos elementos que se explican a continuación:

- Arduino UNO: Posee la programación del sensor y la configuración de los pines que van a estar destinados para el módulo de RF.
- Transceptor NRF24L01: Permite la comunicación entre el pseudoagente y su respectivo agente de control.

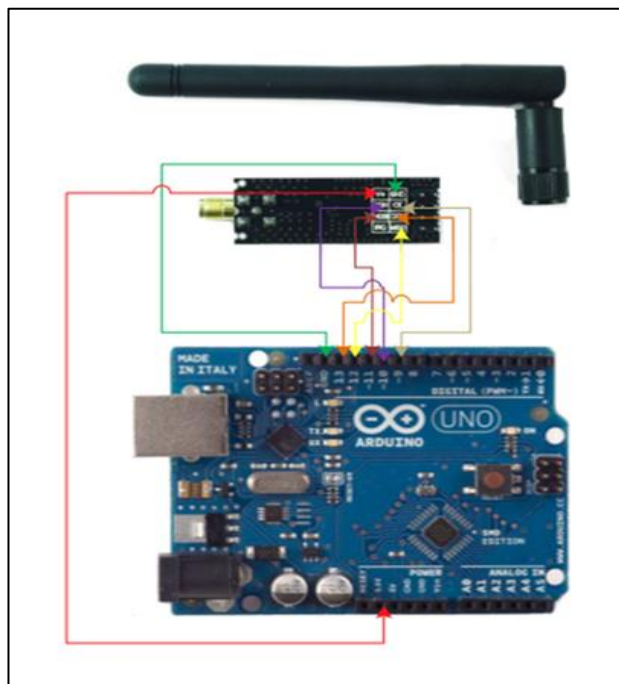


Figura 3.25: Diagrama esquemático de conexiones de los pseudo-agentes

Fuente: Autor

Los pines específicos que se utilizan en las conexiones entre el Arduino UNO y el módulo NRF24L01 para su comunicación se detallan en la tabla 3.6.

Tabla 3.6: Conexiones de los pseudo-agentes

CONEXIONES DE LOS PSEUDO-AGENTES	
NRF24L01	ARDUINO UNO
V+	3V3
GND	GND
CE	PIN 9
CSN	PIN 10
MOSI	PIN 11
MISO	PIN 12
SCK	PIN13

Fuente: Autor

3.7.2.2. Implementación física de los agentes de control

En este punto se va a presentar la implementación física de los agentes de control con su respectivo pseudo-agente. Para demostrar esto se ha utilizado una placa protoboard en la cual van a colocar los elementos del agente de control tales como el NodeMCU ESP8266, la pantalla OLED y el transceptor NRF24L01. Para unir estos elementos se utilizó cable UTP según los diagramas de conexiones ya presentados.

Por otro lado, los pseudo-agentes no se encuentran conectados en la placa debido a que deben permanecer a distancia y comunicarse con su agente a través de RF. Los elementos principales que lo conforman es un Arduino UNO y un transceptor NRF24L01, pero dependiendo del tipo de agente ya sea de ahorro energético, confort o de seguridad personal va a poseer un sensor específico según su función. Para alimentar todo este sistema es necesario de 5VDC a través de un rectificador de corriente conectado a la red eléctrica.

A continuación, se describe cada agente de control según sus tareas específicas:

- Agente de ahorro energético: Para demostrar el funcionamiento se utilizó el módulo sensor de movimiento PIR HC-SR501 el cual va a estar conectado en una placa Arduino UNO y mantendrá comunicación con su agente de control a través de RF. Si en la habitación no se

detecta movimiento en la pantalla OLED se observará la palabra “AUSENTE”, caso contrario cambia a “PRESENTE” lo cual en la práctica permitiría una acción como por ejemplo encender las luces de forma automática. El uso de este agente inteligente garantiza el control ante el consumo excesivo de energía eléctrica. En la figura 3.26 se observa la implementación física del agente de ahorro energético.

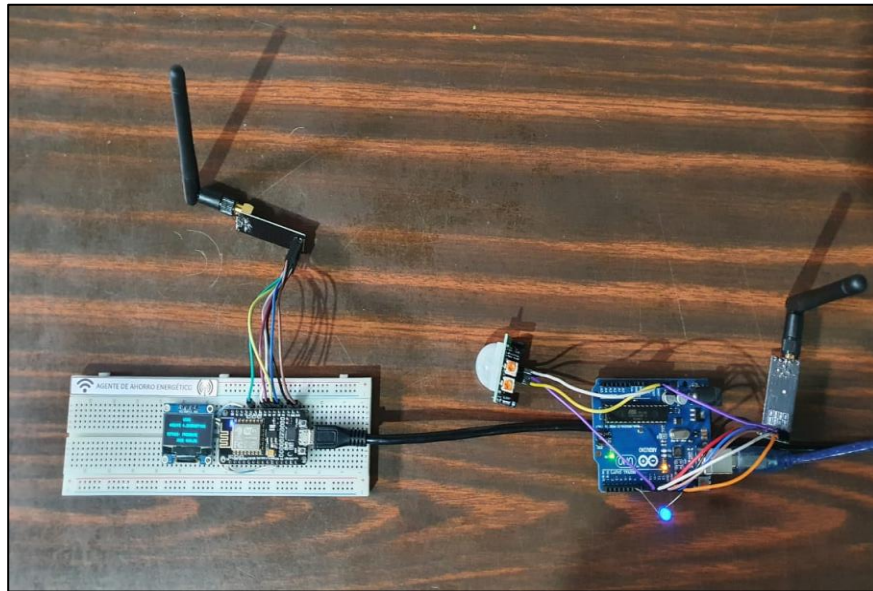


Figura 3.26: Implementación física del agente de ahorro energético

Fuente: Autor

- Agente de confort: Para la obtención de datos se utilizó un detector crepuscular, el cual ha sido diseñado con una LDR que detecta el cambio de la intensidad de iluminación en el transcurso del día. En la vida cotidiana se utiliza este sistema para encender/apagar las luces que se encuentren en lugares abiertos de forma automática. Cuando la fotorresistencia detecte intensidad de luz en la pantalla se va a observar la palabra “DIA”, caso contrario aparecerá “NOCHE”. A continuación, se muestra en la figura 3.27 la implementación física del agente de confort.

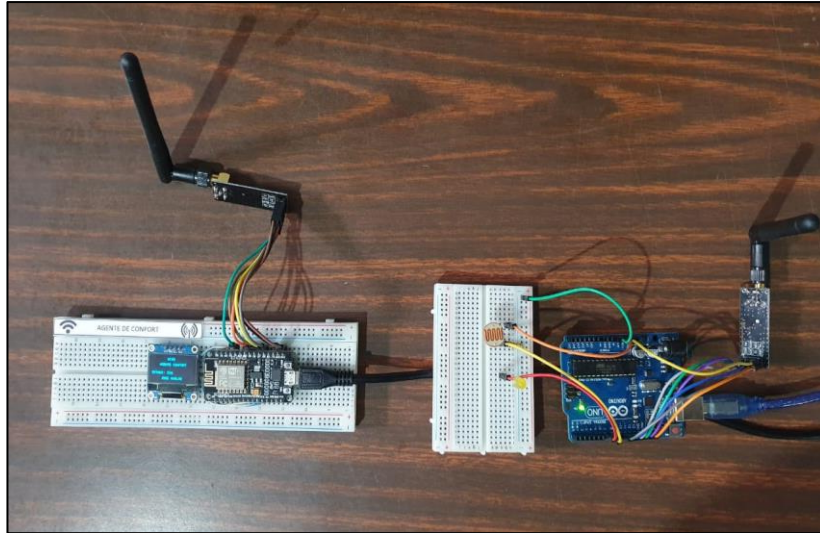


Figura 3.27: Implementación física del agente de control

Fuente: Autor

- Agente de seguridad personal: Para la implementación de este agente de control se utilizó un sensor detector de obstáculos IR FC-51 que va a ser el pseudo-agente encargado de obtener los valores del ambiente. Este dispositivo se encarga de controlar la seguridad de la vivienda cuando sus habitantes no se encuentran en ella, para ello el sensor va a encender un led dentro de él mismo cuando este detecte el corte de la luz infrarroja si alguien ingresa al área, si esto sucede en la pantalla OLED se observará la palabra “INTRUSO”, caso contrario dirá “SEGURO”. En la figura 3.28 se muestra la implementación física del agente de seguridad personal.

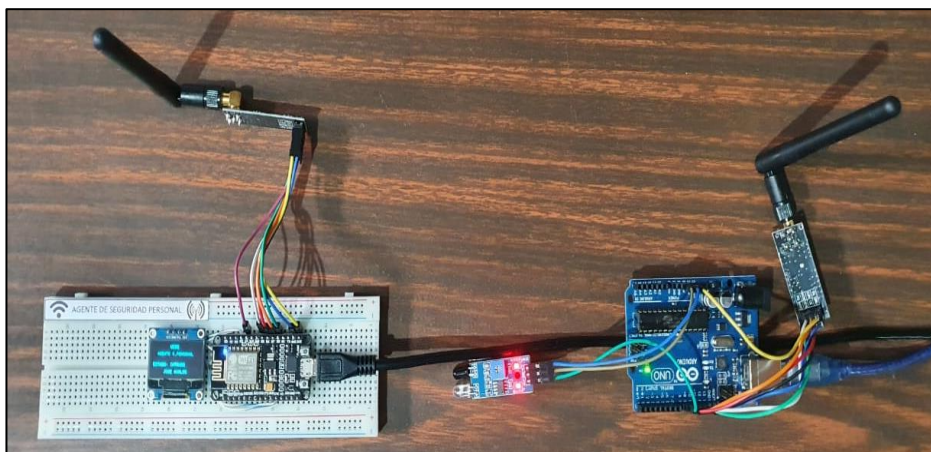


Figura 3.28: Implementación física del agente de seguridad personal

Fuente: Autor

3.7.3. Sistema completo

En este punto se muestra en la figura 3.29 el sistema completo de la estructura multi-agente de tipo pizarra distribuida en el cual se encuentran los agentes de almacenamiento, control y seguridad personal con su respectivo pseudo-agentes.

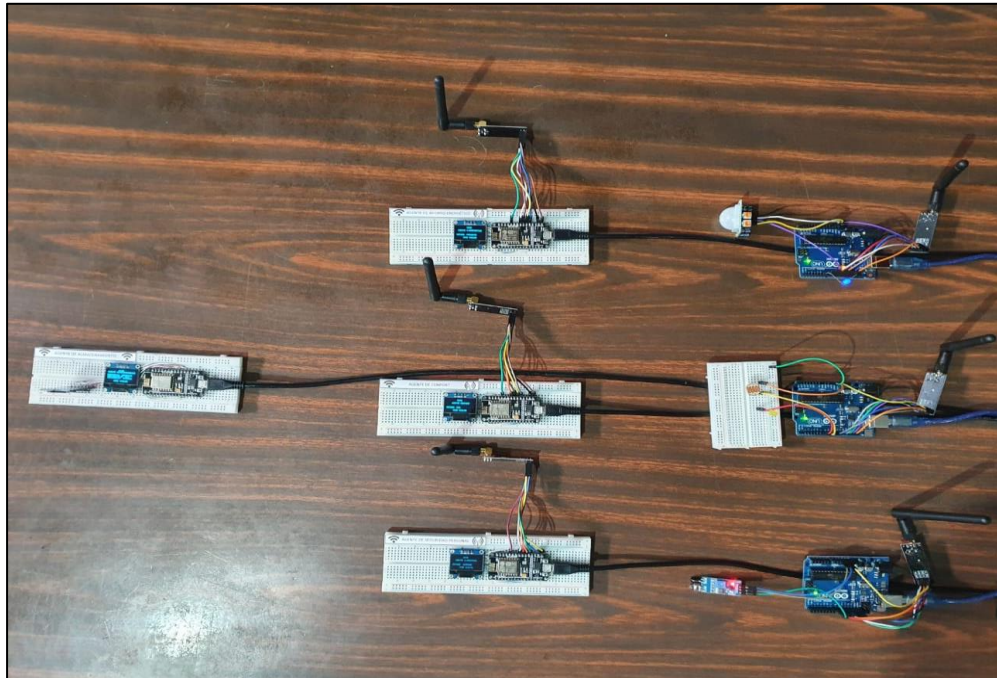


Figura 3.29: Implementación física del sistema completo

Fuente: Autor

3.8. Pruebas de experimentación del sistema de comunicación de pizarra distribuida

En este apartado se describen las pruebas necesarias para comprobar que el sistema propuesto funciona correctamente. Para ello se ha propuesto realizar dos pruebas: Medición de cobertura para determinar la pérdida de paquete de datos, tiempo de respuesta entre el agente de almacenamiento y los agentes de control, tiempo de respuesta desde nodos sensores a agente pizarra.

3.8.1. Pruebas de pérdida de paquetes de datos

El objetivo de esta prueba es determinar el porcentaje de pérdidas en base a la relación del número de datos perdidos sobre la cantidad de enviados en el enlace de comunicación.

Para obtener el porcentaje de las pérdidas se procede con el funcionamiento general del sistema, pero se recopilaron los resultados de las dos comunicaciones como se detalla a continuación:

- Para el primer caso se realizó la comunicación Wi-Fi entre los agentes de control y el agente de almacenamiento dando forma a la comunicación de tipo pizarra distribuida.
- La segunda prueba fue realizada entre los pseudo-agente con los agentes de control a través de RF.

En ambos casos se tomaron como referencia las distancias establecidas por el fabricante de los módulos, se realizó la toma de muestras en el IDE de Arduino a través del “Monitor Serie” y se verificó el número de datos enviados y perdidos. A continuación, se describe la fórmula utilizada que nos permite obtener el porcentaje de las pérdidas de datos de cada comunicación descrita.

$$\%SL \text{ Pérdidas de datos} = \frac{SL \text{ Datos perdidos}}{SL \text{ Datos enviados}} * 100\%$$

El número de solicitudes de lectura está descrito por “SL”.

3.8.1.1. Pérdida de paquetes de datos entre los agentes de control y el agente de almacenamiento

En esta prueba se procedió a establecer cinco variables de distancia en base al rango de distancias del fabricante del ESP8266 para comunicación Wi-Fi entre los dos módulos. Se establece que este dispositivo posee un alcance máximo de 10m con obstáculos, para ello se realizaron las siguientes pruebas expuestas en las tablas 3.7 y 3.8.

Tabla 3.7: Pérdida de paquetes de datos entre el agente de almacenamiento y los de control

DISTANCIA	DATOS ENVIADOS	DATOS PERDIDOS	PORCENTAJE DE PÉRDIDA
5m	910	2	0.22%
6m	904	10	1.11%
7m	898	17	1.89%
9m	877	34	3.88%
10m	829	41	4.95%

Fuente: Autor

Luego de realizar la precisión del alcance para obtener una aproximación de pérdida de datos se pudo observar que a menor distancia existe una mínima probabilidad de pérdida de datos y a mayor distancia este porcentaje no sobrepasa el 4.95%, es decir, que existe una comunicación fiable entre los agentes inteligentes. En la figura 3.30 se observa las distancias versus el porcentaje de las pérdidas de los paquetes de datos.

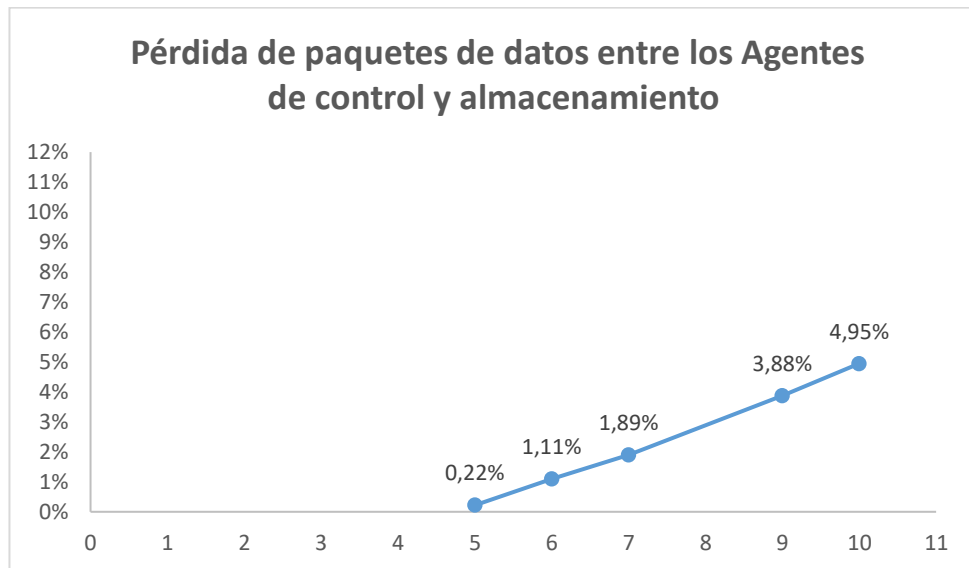


Figura 3.30: Resultados de la pérdida de paquetes de datos entre los agentes de control y el agente de almacenamiento

Fuente: Autor

3.8.1.2. Pérdida de paquetes de datos entre los pseudo-agentes y los agentes de control

Al igual que la prueba anterior se toma en cuenta la variable distancia con la recepción de datos para determinar una aproximación de la precisión que tienen estos dispositivos durante la comunicación por RF. Se toma en base las distancias según los datos técnicos establecidos por el fabricante del NRF24L01 que destaca que el alcance de este dispositivo tiene un rango de 10 a 20m. Para este caso se establecieron tres unidades de distancia las cuales se detallan en la tabla

Tabla 3.8: Pérdida de paquetes de datos entre los agentes de control y sus pseudo-agentes

DISTANCIA	DATOS ENVIADOS	DATOS PERDIDOS	PORCENTAJE
5m	920	3	0,33%
7m	876	18	2,05%
9m	836	38	4,55%
10m	824	47	5,70%
11m	778	52	6,68%
13m	762	71	9,32%
15m	751	84	11,19%

Fuente: Autor

Se destaca que los valores utilizados en datos enviados son los mismo que en el caso anterior debido a que estos datos son obtenidos por el pseudo-agente en el ambiente los cuales son enviados a su respectivo nodo de control y finalmente llegan al agente de almacenamiento para gestionar dicha información. Se observa en la figura 3.31 que en los resultados se refleja una pequeña variación con respecto al porcentaje obtenido en la tabla anterior lo que quiere decir que la comunicación es fiable debido a su mínima cantidad de datos perdidos.

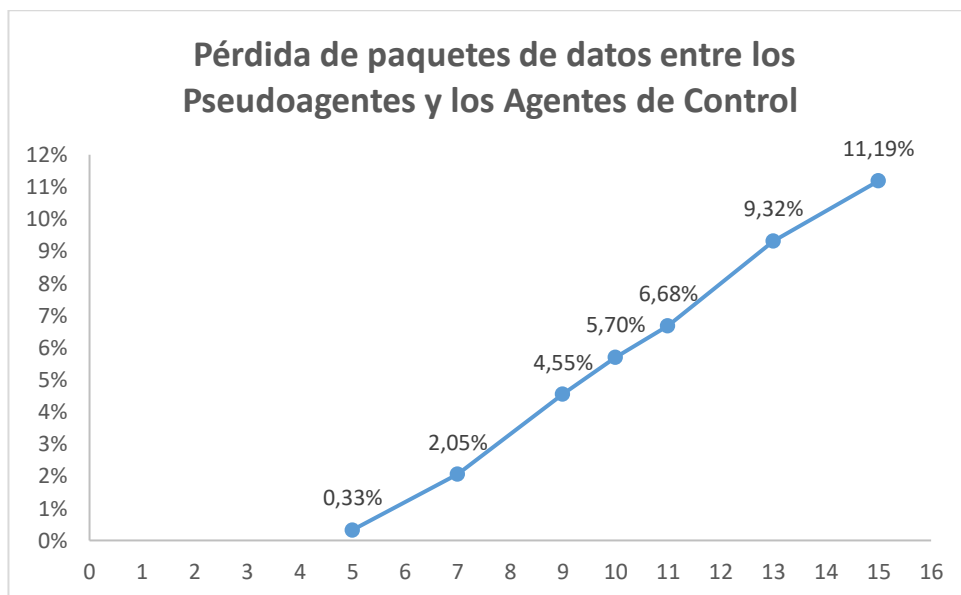


Figura 3.31: Resultados de la pérdida de paquetes de datos entre los pseudo-agentes y los agentes de control

Fuente: Autor

3.8.2. Prueba de tiempo de respuesta de las comunicaciones entre los agentes de control y el agente de almacenamiento

En esta prueba se va a desarrollar la toma del tiempo de las respuestas de los agentes de control a las solicitudes del agente de almacenamiento. Para lograr esto se utilizó el "Monitor Serie" en el IDE de Arduino con la finalidad de observar el tiempo exacto de envío/recepción de datos. Se determinó el valor de la diferencia de tiempo se tomaron mil pruebas, evidenciando que a una distancia de 10m el tiempo de respuesta es de 252us promedio, con un pico alto de hasta 621us y mínimo de 179us. Considerando una distancia de 5m el tiempo promedio es de 200us con un pico bajo de 123us y uno alto de 456us.

Cabe recalcar que los datos obtenidos fueron realizados con obstáculos lo que permite verificar que a mayor distancia que se encuentren los módulos el tiempo va a ser más lento en su recepción de información. Se puede agregar que esta comunicación es fiable y rápida lo que garantiza que va a funcionar sin inconvenientes cumpliendo cada una de las funciones establecidas.

3.8.3. Prueba de tiempo de repuesta desde los pseudo-agentes y los agentes de control

Como actores de esta prueba se tienen a los pseudo-agentes que serán los encargados de obtener los datos del ambiente una vez energizado el sistema. Luego de esto ellos proceden a enviar esa información a su respectivo agente de control para seguir con la secuencia del funcionamiento. La finalidad de esta experimentación es la de obtener el tiempo de respuesta en enviar los datos a las áreas superiores de la arquitectura, para ello se conectó cada dispositivo con el módulo NRF24L01 a un ordenador para realizar la comunicación emisor/receptor.

Para monitorear el tiempo de envío/recepción de datos entre ellos se procedió a utilizar el monitor serial del IDE de Arduino con la opción de tiempo para realizar la diferencia de segundos entre los resultados. Para determinar el valor de la diferencia de tiempo se tomaron mil pruebas, evidenciando que a una distancia de 5m el tiempo de respuesta es de 2.2ms promedio, con un

pico alto de hasta 2.9ms y mínimo de 1.5ms. Por otro lado, considerando una distancia de 10m el tiempo promedio es de 2.4ms con un tiempo mínimo de 1.8ms y un máximo de 3.2ms.

Una vez obtenidos los resultados de la hora de emisión/recepción de datos se observa que mientras aumenta la distancia entre los dos dispositivos el valor de la diferencia de tiempo también se incrementa. Se puede afirmar que la comunicación por RF es más lenta que la Wi-Fi y los resultados obtenidos son acordes y se comprueba que la comunicación es segura y rápida.

Capítulo 4 : PRESENTACIÓN DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se muestran un resumen de los resultados alcanzados en este trabajo de investigación, lo cual permitirá más adelante demostrar de forma objetiva y sistemática, el cumplimiento de los objetivos que se plantearon al inicio de la investigación, mediante la propuesta de arquitecturas, modelados y la implementación física de la arquitectura pizarra distribuida.

4.1. Presentación de resultados

En este apartado se exponen los resultados más relevantes a partir de la elaboración del estado de arte, diseño de arquitecturas tales como control domótico, pizarra distribuida, hardware del agente de almacenamiento, agentes de control y nodo sensor/actuador, modelados UML y RdP. Además, se resumen los resultados correspondientes a la implementación física de este estudio, así como también de sus pruebas experimentales.

4.1.1. Resultados de estado del arte

Mediante el análisis de los artículos resumidos en el estado del arte se encontró información relevante para el desarrollo de este proyecto. Sin embargo, cabe recalcar que existen poca literatura relacionada al tipo de arquitectura pizarra distribuida utilizando microcontroladores de 32 bits, razón por la cual existe un gran incentivo a contribuir con la sociedad con este trabajo de investigación.

Entre los aportes más relevantes se encuentra el trabajo desarrollado por (Mendoza et al., 2020) el cual fue una base fundamental para efectuar el presente trabajo ya que su aporte indica el funcionamiento de una red de sensores inalámbricos para sistemas multi-agentes con un enfoque al mundo de la domótica, además de brindar una implementación de una estructura de bajo costo se verificó la viabilidad en tiempos de respuesta, adaptabilidad ante variantes, precisión y escalabilidad. Por otra parte, la investigación realizada por (Canedo et al., 2019) brindó bases conceptuales entorno a la pizarra distribuida pues, si bien su práctica difiere a la aplicación de esta tesis, el mecanismo conceptual resulta un aporte importante para este tipo de trabajos

4.1.2. Resultados de las arquitecturas

Los desarrollos de las diferentes arquitecturas dentro de este proyecto de investigación formaron las bases de toda la implementación debido a que cada una de ellas, especifican características esenciales que sirven para su diseño, modelado e implementación física. Dentro de las arquitecturas desarrolladas se tienen las siguientes:

- **Arquitectura domótica:** Se encuentra constituida por un subsistema de gestión encargado del almacenamiento de datos y por tres subsistemas de control: ahorro energético, confort y seguridad personal, cada uno cuanta con su respectivo nodo sensor, sensores y actuadores.
- **Arquitectura de control domótico:** La presente arquitectura se encuentra establecida por tres niveles; partiendo del nivel de supervisión, comunicación y gestión, posterior se tiene el nivel de control de ahorro energético, confort y seguridad personal y, finalmente el nivel de los sensores
- **Arquitectura hardware del agente de almacenamiento:** La arquitectura está basada en un microcontrolador de 32 bits, el modulo empleado se comunica con los demás subsistemas de la red mediante wifi, además se dispone de un convertidor de señales ADC
- **Arquitectura hardware de los agentes de control:** Arquitectura similar al hardware del agente de almacenamiento con la particularidad que los estos no pueden almacenar información, sino que deben destinarla al área de gestión para que efectúe la acción necesaria.
- **Arquitectura hardware del nodo sensor/actuador:** Consta de un Arduino UNO que controla sensores y actuadores. Además, contiene un módulo de radio frecuencia que cumple con la función de mantener la comunicación.
- **Arquitectura multi-agente:** La particularidad de esta arquitectura consiste en que la comunicación utilizada es ente los agentes de control y almacenamiento es mediante wifi mientras que los pseudo-agentes de comunican con los agentes de control mediante radio frecuencia.

- **Arquitectura pizarra distribuida:** Esta arquitectura se encuentra dividida en dos secciones; por un lado, los agentes de control y por otro la pizarra, la cual contiene todos los elementos del agente de almacenamiento. La ventaja principal de esta arquitectura es que las tareas que sean asignadas a los agentes de control van a ser efectuadas de forma ágil mediante la comunicación efectiva de la pizarra además de permitir la cooperación en el sistema, cabe recalcar que también cuentan con autotomía ya que poseen inteligencia artificial lo que hace que la arquitectura sea eficaz.

4.1.3. Resultados del modelado UML y RdP

Mediante el modelado UML se pudo identificar el mejor panorama para el diseño que va a ser utilizado en la implementación de agentes inteligentes. En primera instancia se realizó el diagrama de casos de uso el cual es de gran ayuda para tener una perspectiva del mecanismo a desarrollar, es decir, las funciones que realiza cada uno de los actores. Por otro lado, se utilizó el diagrama de secuencias el cual permite verificar las interacciones que surgen dentro del sistema mediante una cronología de eventos. Finalmente, el diagrama de estados fue fundamental ya que brinda un esquema detallado del flujo de transiciones.

A raíz de los tres diagramas mencionados en el párrafo anterior, se utilizó el modelado con RdP del sistema pizarra distribuida domótico, en un SMA dentro del marco de inteligencia artificial. Las propiedades de la red, permiten garantizar la funcionalidad correcta que se desea. Cabe indicar que para la ejecución de este proyecto que utilizo el software PIPE que genera las matrices y ecuaciones para el análisis de las propiedades de la RdP.

4.1.4. Resultados de la implementación

En este apartado se detalla que se pudo obtener la comunicación del emisor y receptor entre el agente de almacenamiento y los agentes de control. Cada pseudoagente logró receptar datos del ambiente para enviarlos a su respectivo agente de control y este último lo transmite al de gestión. En las siguientes líneas se detallan las pruebas realizadas al sistema para corroborar que funciona de acuerdo a los modelos establecidos. La implementación resulto exitosa y, tanto los agentes inteligentes como pseudo-agentes se

comunicaron correctamente. A partir de esta implementación de desarrollo una serie de pruebas para mostrar la eficiencia del sistema.

4.1.5. Resultados de pruebas experimentales

En base a las pruebas realizadas se logró demostrar que la arquitectura propuesta en esta investigación cuenta con gran alcance con respecto al envío/recepción de datos y poca pérdida en el paquete de datos entre las comunicaciones. El porcentaje de pérdidas que tiene los agentes de control con el de almacenamiento oscila en el rango de 0.22% y 4.95% con distancias entre los 5 y 10m. Por otra parte, los pseudo-agentes con respecto a los agentes de control se obtuvo el 0.33% a una distancia de 5m y a 15m con 11.19%.

Además, el tiempo empleado para la comunicación es sumamente corto tanto para la implementación con Wi-Fi y RF manteniendo tiempos promedios de 250 us y 2.4ms respectivamente a una distancia de 10m.

4.2. Discusión de resultados

En esta sección se realiza la discusión de los resultados obtenidos en el trabajo de investigación. Se expone la discusión en cuanto al cumplimiento de los requisitos funcionales, cumplimiento de los objetivos previamente planteados, además se propone la solución al problema de investigación y principalmente se brinda un aporte de la arquitectura pizarra propuesta.

4.2.1. Discusión del cumplimiento de los requisitos funcionales

Uno de los puntos más importantes dentro del desarrollo de un sistema es la de especificar sus funciones, en este se detallan las directrices que va a poseer y cumplir. La propuesta de la arquitectura tipo pizarra distribuida de este proyecto es la de comunicar la parte jerárquica denotada por el agente de almacenamiento con la heterárquica en la que se encuentran los agentes de confort. El primero cumple la función de ser la pizarra el cual va a gestionar y guardar la información recibida de los agentes faltantes los cuales van a tener a su mando su respectivo pseudo-agentes. Una vez descrito esto se evidencia lo siguiente:

- La pizarra gestiona las comunicaciones de los diferentes agentes que conforman el sistema, es decir, es la encargada de hacer cumplir la comunicación multi-agente distribuida.
- El agente de almacenamiento envía y recibe información a los agentes de control.
- El agente de almacenamiento gestiona la información recibida de los agentes de control para poder almacenarla en una memoria externa.
- El agente de almacenamiento dependiendo sus tareas específicas controlan únicamente a su respectivo pseudoagente.
- El agente de almacenamiento tiene capacidad de mando y puede compartir la información de un agente de control con otro para que el que lo requiere pueda cumplir una acción específica.
- Los agentes de control envían la información obtenida de su pseudoagente al agente de almacenamiento.
- Cada pseudoagente obtiene datos del ambiente según su función específica, es decir, solo consigue las variables de su agente de control.
- Todos los datos que se generen en el sistema pueden ser visualizado en las pantallas OLED.

4.2.2. Cumplimiento de objetivos

Una vez concluido todo el trabajo de investigación, modelados y la implementación del sistema de arquitectura de tipo pizarra distribuida se puede afirmar que todos los objetivos se cumplieron a cabalidad. El cumplimiento de todos los objetivos específicos implica el cumplimiento del objetivo general como se describe a continuación:

- Se propuso las arquitecturas de domótica, control domótico, hardware del agente de almacenamiento y control, nodo sensor/actuador y multi-agente previo a la obtención del modelo final nombrada arquitectura de comunicación multi-agente tipo pizarra distribuida con la particularidad que es aplicable a sistemas basados en microcontroladores de 32 bits.
- Los modelados que se utilizaron tales como UML y Redes de Petri fueron de gran ayuda puesto que gracias a ellos se pudo tener una

mejor perspectiva del sistema que se deseaba demostrar. Cada modelado cuenta con características que fortalecen y aseguran que el sistema va a cumplir su función sin errores.

- Se demostró en las pruebas experimentales que la arquitectura de comunicación multi-agente tipo pizarra distribuida si puede ser realizada de forma segura con microcontroladores de 32 bits. Los dispositivos de comunicación Wi-Fi utilizados fueron capaces de enviar y recibir información entre ellos y esto fue verificado ya que se pudo observar tanto en la pantalla OLED del agente de control como en el agente de almacenamiento que se define como la pizarra. Además, se deja en evidencia los resultados obtenidos en la precisión de comunicación, tiempo de respuesta de las comunicaciones entre los agentes inteligentes y el agente de almacenamiento con los pseudo-agentes y finalmente las pruebas de cobertura de la red.

Detallado lo anterior se dice que, se cumplió el objetivo general propuesto, debido a que luego de diseñar cada una de las arquitecturas, analizarlas e implementar el modelo final del sistema domótico fueron de gran ayuda para corroborar que la propuesta en esta investigación funciona en su totalidad. Se puede afirmar que los microcontroladores ESP8266 de 32 bits son capaces de realizar este tipo de comunicación entre agentes inteligentes a través del protocolo Wi-Fi. La utilización del módulo Wi-Fi planteado hace posible mantener la comunicación de los ambientes dentro de un hogar, lo cual es satisfactorio porque se puede realizar una instalación inteligente con dispositivos de bajo costo.

4.2.3. Solución al problema de investigación

La pregunta propuesta en el capítulo 1 de la cual se inició el desarrollo de este proyecto de investigación es la siguiente:

¿Necesitan los agentes inteligentes hardware un sistema de comunicación que los ayude a mejorar el envío recepción de los mensajes entre ellos?

Partiendo de la interrogante presentada se realiza la necesidad de un sistema que permite la comunicación multi-agente, para ello se propuso la

arquitectura de tipo pizarra distribuida para un sistema domótico. El estado del arte fue el primer punto al que se hizo énfasis debido a que se recabó información importante que sirvió para conocer las bondades que presenta la utilización de IAD. El término “Blackboard” no es nuevo, pero es escasa la información que se tiene sobre este modelo utilizando microcontroladores de 32 bits que es la alternativa que se expone para poder desarrollar este tipo de arquitectura. Posterior a esto, se diseñaron arquitecturas de comunicación y de los componentes hardware que va a tener cada agente inteligente para llegar al objetivo.

Continuando con el proceso se destaca que realizar los modelados UML y RdP sirvieron de gran ayuda para plasmar ya la arquitectura final, verificando que los procesos cumplan las funciones de cada elemento. Dando fin a todo lo que se refiere como parte teórica se procedió a la implementación final que gracias a los resultados obtenidos de las pruebas experimentales se pudo constatar que la estructura de comunicación multi-agente domótica de tipo pizarra distribuida funciona correctamente permite mantener una comunicación Wi-Fi segura sin pérdida de información.

Finalmente, presentando toda la información antes mencionada, sirve como evidencia que todo lo realizado en este proyecto de fin de curso brinda una solución al problema de investigación.

4.2.4. Aporte de la arquitectura pizarra propuesta

Los aportes que genera la estructura de comunicación multi-agente domótica de tipo pizarra distribuida propuesta en este proyecto de investigación genera gran valor a la carrera de ingeniería electrónica en control y automatismo por la utilización de IAD. La utilización de microcontroladores de 32 bits son una propuesta factible para la automatización de una vivienda con dispositivos de bajo costo.

Como es de conocimiento público no todas las familias pueden acceder a este tipo de tecnologías por lo que este modelo es de gran ayuda ya que los módulos tanto de protocolo Wi-Fi y RF tiene un alcance máximo de 10m con obstáculos. A su vez, los sensores seleccionados cumplen en una función importante debido a que se encargan de controlar ambientes importantes

dentro de un hogar, esto permite que el usuario tenga conocimiento de lo que sucede en tiempo real. Algo que resalta el funcionamiento de la arquitectura es la facilidad de visualizar los datos generados por los agentes de control cuando se desee gracias a que a información que obtiene el agente de gestión es almacenada en una memoria.

Capítulo 5 : CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo se presentan las conclusiones y recomendaciones una vez finalizado todo el trabajo de investigación alcanzando los objetivos propuestos. Además, se realizan observaciones para trabajos futuros relacionados al tema.

5.1. Conclusiones

- La arquitectura de comunicación tipo pizarra distribuida propuesta para un sistema multi-agente domótico cumple con las funciones que han sido asignadas inicialmente y puede ser considerado como una solución al problema planteado, pues permite gestionar de forma eficiente las comunicaciones y tareas de control entre los diferentes agentes y pseudo-agentes que conforman el sistema domótico distribuido.
- Los desafíos que presentan actualmente los sistemas de control distribuidos y sistemas inteligentes distribuidos son absorbidos con el uso de agentes inteligentes y sistemas multi-agentes a pesar de presentar complejidad en su diseño puesto que estos se logran minimizar a partir de las herramientas de modelado utilizadas las cuales permiten describir de forma detallada y sistemática su comportamiento e interacciones.
- Contar con un agente de almacenamiento capaz de gestionar la información recibida de los agentes de control y almacenarla en una memoria externa permite reducir considerablemente los conflictos entre agentes, pues las funciones del agente de almacenamiento no solo se orientan a proporcionar información a quien lo solicita sino arbitrar de cierta forma los posibles problemas entre sus actores.
- Se demostró a través de las pruebas experimentales que la arquitectura de comunicación multi-agente tipo pizarra distribuida, es segura y rápida con microcontroladores de 32 bits. Los dispositivos de comunicación Wi-Fi utilizados fueron capaces de enviar y recibir información de forma eficiente.

- El uso de tecnologías en microcontroladores de 32 bits se justifica a partir de los requerimientos de los algoritmos de inteligencia artificial, las tareas de control requeridas, la velocidad de procesamiento para un tiempo de respuesta eficiente, estas tareas tienen en común que requieren de una elevada capacidad de procesamiento y mayor recurso de memoria.
- Los modelados UML y RdP son herramientas que se han propuesto para la proyección y diseño de un sistema de control distribuido basado en agentes inteligentes y que han cumplido eficazmente su propósito, brindando al desarrollo un orden adecuado que permitió recoger todos los detalles de comportamiento de los agentes y proveer un diseño funcional, robusto y eficiente, lo cual puede ser verificado a través de las redes de Petri

5.2. Recomendaciones

- El modelado UML es una herramienta de gran ayuda para el desarrollo de los tres modelados utilizados para designar las funciones del sistema denominados diagramas de casos de usos, secuencias y estados. Aquí se definen los actores con sus funciones y el momento exacto en el que deben realizarlas.
- Se recomienda utilizar los softwares de código abierto Visual Object Net y PIPE para el desarrollo de RdP. En estas herramientas se puede desarrollar la red que se desee y lograr observar su funcionamiento como los subsistemas que existan. Para corroborar que lo diseñado es correcto se obtiene las ecuaciones de las RdP donde observa si cumple con la propiedad de limitación, saber si es segura y determinar si la red es viva.
- El uso de microcontroladores Wi-Fi ESP8266 de 32bits es una excelente opción para el desarrollo de proyectos de IAD su bajo costo permite que los estudiantes puedan utilizarlo y descubrir todas sus bondades.

- Para futuros trabajos se recomienda el uso de software de código abierto gracias a que facilita la obtención de librerías que permiten utilizar distintos dispositivos de varias áreas de la ciencia.
- En la implementación física del sistema se recomienda utilizar elementos compatibles para garantizar que el sistema funcione de forma óptima. Se debe verificar los protocolos de comunicación, arquitecturas y textos científicos que contengan información de implementaciones previas. Las tomas de resultados de las pruebas se tienen que realizar tanto en el ambiente como en un software para comparar los resultados y llegar a conclusiones específicas con poco margen de error.

5.3. Trabajo futuro

Gracias a los resultados obtenidos en este trabajo de investigación se comprueba que si es posible desarrollar proyectos de IAD con dispositivos de bajo costo. Los textos científicos relacionados al tema permiten conocer todas las cualidades que esta tecnología ofrece. Los temas abordados en este estudio pueden seguir profundizándose principalmente en el área de la IA, donde la lógica difusa puede utilizarse para la toma de decisiones y permitir que los modelos de arquitectura utilizados a más de ser reactivas puedan ser deliberativas.

Bibliografía

- Aguilar, J., Rios, A., Hidrobo, F., & Cerrada, M. (2013). *Sistemas MultiAgentes y sus Aplicaciones en Automatización Industrial*. 472.
- Akyildiz, L. F., & Vuran, M. C. (2010). *Wireless Sensor Networks*. John Wiley & Sons.
- Alarcón, R. (2000). *Diseño Orientado a Objetos con UML*. 117.
- Araúzo, J. A., del Olmo, R., Laviós, J. J., & de Benito, J. J. (2015). Programación y control de sistemas de fabricación flexibles: Un enfoque holónico. *Revista iberoamericana de automática e informática industrial*, 12(1), 58-68.
- Battolla, T. F., Fuentes, S., Illi, J. I., & Nacht, J. (2018). Sistema dinámico y adaptativo para el control del tráfico de una intersección de calles: Modelación y simulación de un sistema multi-agente. 14.
- Bisht, R. S., & Budhani, S. K. (2014). Performance analysis of hierarchical and nonhierarchical routing techniques in wireless sensor networks. 2014 International Conference of Soft Computing Techniques for Engineering and Technology (ICSCCTET), 1-8. <https://doi.org/10.1109/ICSCCTET.2015.7371197>
- Buitrago, S., & Sánchez, M. (2017). VMAS-Modeller: Una Aplicación Visual para el Modelado de Sistemas Multi-Agentes Guiado por la Metodología MASINA. 4(1), 12.
- Campamá, S. (2012). Sistema operativo para redes inalámbricas de sensores. <https://repositorio.uc.cl/handle/11534/1723>
- Campaña, S., Meza, H., Cervelion, A., & Aguirre, A. (2018). Redes de Sensores Inalámbricas (WSN)—Caso de Aplicación. <https://doi.org/10.22490/9789586516549>
- Canedo, E., Canedo, G., & Lugo, G. (2019). Aplicación de la inteligencia artificial para la especificación de una organización digital Application of artificial intelligence for the specification of a digital organization. 7.

- Cedom. (2020). Qué es Domótica. <http://www.cedom.es/sobre-domotica/que-es-domotica>
- Desai, P., & Hattori, H. (2016). Smart Home for elderly adults. *International Journal of Advanced Information Science and Technology*, 6.
- Dong, X., & Hu, G. (2017). Time-Varying Formation Tracking for Linear Multiagent Systems With Multiple Leaders. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 62(7), 3658-3664. <https://doi.org/10.1109/TAC.2017.2673411>
- Fernandez, R., Ordieres, J., Ascacibar, F. J., González, A., Alba, F., Lostado, R., & Pernía, A. (2009). *Redes Inalámbricas de sensores: Teoría y aplicación práctica*.
- Fowler, M., & Scott, K. (1999). *UML gota a gota: Actualizado para cubrir la version 1*. Pearson Educación.
- Fuentes, L., & Vallecillo, A. (2004). *Una Introducción a los Perfiles UML*.
- García, D., Simari, G., & García, A. (2004). Planificación de agentes BDI. VI Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación.
- García, E. (2001). *Automatización de procesos industriales*. Alfaomega;
- Guacho, D., & Muñoz, L. (2014). Estudio de aplicabilidad de sistemas domóticos orientados a urbanizaciones de la ciudad de Riobamba. 173.
- Huidobro, J. M. (2014). *Telecomunicaciones: Tecnologías, redes y servicios*. Ra-Ma Editorial.
- Huidobro, J. M., & Ordoñez, J. L. (2014). *Comunicaciones por radio: Tecnologías, redes y servicios de radiocomunicaciones: el espectro electromagnético*. Alfaomega.
- Iacono, L., Godoy, P., Marianetti, O., & García Garino, C. (2010). Estudio de plataformas de hardware empleadas en redes de sensores inalámbricas. XVI Congreso Argentino de Ciencias de la Computación. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/19349>

- Järvi, K., Almpantopoulou, A., & Ritala, P. (2018). Organization of knowledge ecosystems: Prefigurative and partial forms. *Research Policy*, 47(8), 1523-1537. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2018.05.007>
- Kimmel, P., & Pérez, J. (2007). Manual de UML - Paul Kimmel.pdf. https://www.academia.edu/29446479/Manual_de_UML_Paul_Kimmel_pdf
- Kocakulak, M., & Butun, I. (2017). An overview of Wireless Sensor Networks towards internet of things. 2017 IEEE 7th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC), 1-6. <https://doi.org/10.1109/CCWC.2017.7868374>
- Laclaustra, I. M., & Alonso, J. M. (2016). Sistema Domótico Distribuido para Controlar el Riego y el Aire Acondicionado en el Hogar. 15.
- López, A. (2018). Sistemas multiagente para la integración de personas discapacitadas [Http://purl.org/dc/dcmitype/Text, Universidad de Salamanca]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=256121>
- Martín, J. C. (2010). Instalaciones domóticas. Editex.
- Mendoza, E., Fuentes, P., Benítez, I., Reina, D., & Núñez, J. (2020). Red de sensores inalámbricos multisalto para sistemas domóticos de bajo costo y área extendida. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial*, 17(4), 412-423. <https://doi.org/10.4995/riai.2020.12301>
- Molina, L., & Bravo, J. (2010). Instalaciones domóticas. McGraw-Hill Interamericana de España.
- Muñoz, M., & Riccio, G. (2005). Modelamiento de sistemas de control y sincronización de procesos basados en redes de petri.
- Murillo, L. (2008). Redes de Petri: Modelado e implementación de algoritmos para autómatas programables. *Revista Tecnología en Marcha*, 21(4), 102.
- Nieto, M. (2020). Modelado de un sistema multiagente para coordinación de dispositivos IoT. <http://ruBDIa.ua.es/dspace/handle/10045/109321>

- Patiño, M. (2019). Modelo adaptativo de inteligencia ambiental sensible al contexto basado en ontologías, agentes inteligentes y redes de sensores inalámbricos. <https://doi.org/10.1145/329124.329126>
- Plaza, A., Pincay, F., & Ortega, I. (2016). Gestión de conocimiento abierto sobre medio ambiente mediante el uso de agentes inteligentes. Memorias de la Décima Quinta Conferencia Iberoamericana en Sistemas, Cibernética e Informática: CISCI 2016, ISBN: 978-1-941763-49-0.
- Rizo, R., Llorens, F., & Pujol, M. (2003). Arquitecturas y Comunicación entre Agentes. 34.
- Rosero, P., Núñez, S., Realpe, S., Alvear, V., Beltrán, L., & Rosado, C. (2017). Internet de las cosas y redes de sensores inalámbricos: review. https://www.researchgate.net/publication/316438631_Internet_de_las_cosas_y_redes_de_sensores_inalambricos_review
- Ruiz, A., & Molina, J. (2010). Automatización y telecontrol de sistemas de riego. Marcombo.
- Rumbaugh, J., Jacobson, I., & Booch, G. (2000). El lenguaje unificado de modelado. Manual de referencia. <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IscScript=AGRIUAN.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=013986>
- Schmuller, J. (2000). Aprendiendo UML en 24 Horas. https://www.academia.edu/17124068/Aprendiendo_UML_en_24_Horas_Joseph_Schmuller
- Segura, M. (2020). Controlador domótico auto-configurable basado en inteligencia artificial. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/77663>
- Silva, A., Ledesma, E., Castorena, J., Domínguez, A., & Riojas, A. (2018). Utilidad del Lenguaje Unificado de Modelado (UML) en el desarrollo de software profesional dentro del sector empresarial y educativo. Ciencia Acierta, 1-8.

- Spagnuolo, F. (2016). Domótica.
<https://repositorio.uca.edu.ar/handle/123456789/468>
- Torres, G. (2020). Red Wi-Fi para la comunicación entre agentes inteligentes de un sistema domótico.
- Vega de la Cruz, L. O., Lao León, Y. O., & Pérez Pravia, M. (2016). Redes de petri en la determinación de puntos críticos para el control interno. *Revista Universidad y Sociedad*, 8(4), 219-226.
- Viloria, C., Cardona, J., & Lozano, C. (2009). Análisis comparativo de tecnologías inalámbricas para una solución de servicios de telemedicina. 19.
- Zhu, G., Li, Z., & Wu, N. (2018). Model-based fault identification of discrete event systems using partially observed Petri nets. *Automatica*, 96, 201-212. <https://doi.org/10.1016/j.automatica.2018.06.039>



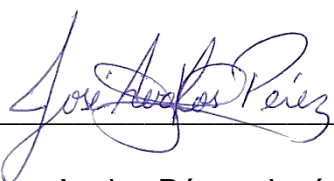
DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Avalos Pérez, José César**, con C.C: # 0924542434 autor del trabajo de titulación: **Estructura de comunicación multi-agente domótica de tipo pizarra distribuida**, 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

f. 

Nombre: Avalos Pérez, José César

C.C: 0924542434



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TEMA Y SUBTEMA:	Estructura de comunicación multi-agente domótica de tipo pizarra distribuida		
AUTOR(ES)	Avalos Pérez, José César		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Msc. Mendoza Merchán, Eduardo Vicente		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	De Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería Electrónica en Control y Automatismo		
TITULO OBTENIDO:	Ingeniero Electrónico en Control y Automatismo		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	8 de marzo del 2021	No. DE PÁGINAS:	111
ÁREAS TEMÁTICAS:	Domótica, Inteligencia Artificial, Redes inalámbricas		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Inteligencia Artificial Distribuida, Agentes Inteligentes, Red de Sensores Inalámbricos, Domótica, Sistemas de Pizarra Distribuida, Redes de Petri, Modelado UML.		

RESUMEN/ABSTRACT

Los sistemas multi-agentes en la actualidad son utilizados de forma eficiente en la solución a los actuales desafíos de la automatización distribuida inteligente. Debido a esto, el presente trabajo de investigación tiene como objetivo proponer una arquitectura para la comunicación tipo pizarra distribuida entre el área de gestión y de control de un sistema domótico inteligente distribuido, que permita mejorar las comunicaciones y acciones de control entre los diferentes dispositivos que interactúan en él, para lo cual se apoya en tecnologías basadas en microcontroladores de 32 bits de bajo costo para las pruebas experimentales. La proyección, diseño y modelado ha sido asistida con los diagramas de casos de uso, secuencias y estados pertenecientes al Lenguaje Unificado de Modelado (UML) lo que permitió tener una mejor perspectiva del funcionamiento de la arquitectura propuesta, en base a esto se procedió a realizar el modelado y simulación con redes de Petri (RdP) para determinar a través de sus propiedades, la funcionalidad del sistema. Mediante la implementación y pruebas experimentales se corroboró que la comunicación entre el agente de gestión, agentes de control y pseudo-agentes es eficiente, estable y de gran cobertura para una vivienda unifamiliar. Finalmente, en base a los resultados obtenidos, se considera que la propuesta es viable y de gran beneficio para usuarios de recursos limitados que deseen acceder a un sistema domótico.

ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-9-86822848	E-mail: jose_avalos96@hotmail.com
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::	Nombre: Palacios Meléndez, Edwin Fernando	
	Teléfono: +593-9-67608298	
	E-mail: edwin.palacios@cu.ucsg.edu.ec	

SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA

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