

**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

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

TEMA:

**Estudio de un sistema multiagente inteligente basado en
microcontroladores de 32 bits aplicado a un sistema
contra incendios para un laboratorio universitario**

AUTOR:

Triviño Corral, Raúl Alejandro

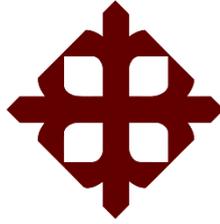
**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO ELECTRÓNICO EN CONTROL Y AUTOMATISMO**

TUTOR:

Córdova Rivadeneira, Luis Silvio

GUAYAQUIL, ECUADOR

13 de marzo de 2018



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

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

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr. **Triviño Corral Raúl Alejandro** como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero Electrónico en Control y Automatismo**.

TUTOR

f. _____

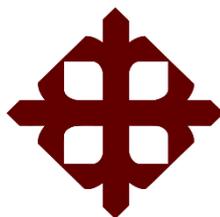
Córdova Rivadeneira Luis Silvio

DIRECTOR DE CARRERA

f. _____

Heras Sánchez, Miguel Armando

Guayaquil, a los 13 días del mes de marzo del año 2018



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, **Triviño Corral Raúl Alejandro**

DECLARO QUE:

El trabajo de titulación “**Estudio de un sistema multiagente inteligente basado en microcontroladores de 32 bits aplicado a un sistema contraincendios para un laboratorio universitario**” 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.

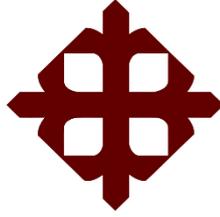
En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 13 días del mes de marzo del año 2018

EL AUTOR

f. _____

Triviño Corral Raúl Alejandro



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

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

AUTORIZACIÓN

Yo, **Triviño Corral Raúl Alejandro**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: “**Estudio de un sistema multiagente inteligente basado en microcontroladores de 32 bits aplicado a un sistema contraincendios para un laboratorio universitario**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 13 días del mes de marzo del año 2018

EL AUTOR

f. _____

Triviño Corral Raúl Alejandro

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

TÍTULO: "Estudio de un sistema multiagente inteligente basado en microcontroladores de 32 bits, aplicado a un sistema contra-incendios para un laboratorio universitario."

AUTOR: TRIVIÑO CORRAL RAÚL ALEJANDRO.

The screenshot displays the URKUND software interface. On the left, a sidebar shows document details: 'Documento: Tesis Agentes Inteligentes.docx (D35904861)', 'Presentado: 2018-02-25 14:57 (-05:00)', 'Presentado por: Alejandro Triviño (ale-jito-1994@hotmail.es)', 'Recibido: eduardo.mendoza01.ucsg@analysis.orkund.com', and 'Mensaje: Tesis [Mostrar el mensaje completo](#)'. Below this, a yellow box indicates '1% de estas 55 páginas, se componen de texto presente en 2 fuentes.' The right sidebar, titled 'Lista de fuentes', shows two sources: 'https://www.dfrobot.com/wiki/i...' and 'FuentesEspinozaPabloTesis.docx'. The main window shows a document with a 100% similarity score and a comparison window for 'Archivo de registro Urkund: U...'. The text in the main window is partially highlighted in orange, showing '4.1.4. Resultados generales del sistema: descripción, características y funciones' and '4.1.6. Resultados generales del sistema: descripción, características y funciones'. The text below the highlights reads: 'Dentro del desarrollo del trabajo, se considera necesario realizar una descripción del sistema, así como también definir sus funciones y características fundamentales, ya que esto permite tener una idea más clara del modo de operación del sistema para posteriormente realizar el modelado y simulación del mismo. En la descripción del sistema, se ha explicado que el lugar en el cual se pretende colocar el sistema basado en agentes inteligentes, que en este caso es un laboratorio universitario, corresponde a una representación, para lo cual se ha realizado un modelo en tercera dimensión, el cual permite visualizar dicho entorno; también se manifestó que el lugar está conformado por dos ambientes: la sala principal en la cual se encuentran maquinas, dispositivos eléctricos y/o electrónicos y demás implementos para el trabajo de los estudiantes, mientras que al área más'

El trabajo de titulación del estudiante: TRIVIÑO CORRAL RAÚL ALEJANDRO, observa un porcentaje inferior al 1% de coincidencias con otros documentos encontrados en el internet.

f. _____
Luis Silvio Córdova Rivadeneira
DOCENTE-TUTOR

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme dado la vida, salud y permitirme llegar hasta estas instancias, por haberme guiado a lo largo de mi carrera universitaria, por ser mi refugio y fortaleza en los momentos de dificultad y por las bendiciones recibidas cada día.

Agradezco a mi madre por brindarme su apoyo incondicional, por los valores y virtudes que me ha inculcado desde pequeño, por estar junto a mí en todo momento, por animarme a seguir adelante y principalmente por ser un ejemplo a seguir.

A mis tíos y abuelos quienes también me acompañaron a lo largo de mi vida estudiantil y han formado una parte muy importante en mi desarrollo personal, por los buenos momentos en compañía de ellos.

A mis compañeros de curso, con quienes compartí momentos de mucha felicidad y aprendizaje.

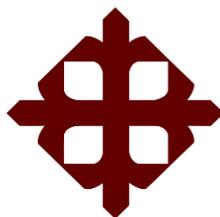
Al Ing. Luis Córdova y al Ing. Eduardo Mendoza, por la ayuda brindada a lo largo de la carrera y por apoyarme durante el desarrollo de este trabajo de titulación.

Alejandro Triviño

Dedicatoria

Le dedico este trabajo a mi madre Janina, mis tíos Narcisa y Carlos, mis abuelos Angélica y Alejandro, por haber confiado en mí y ser un apoyo fundamental durante toda vida, ya que sin ellos nada de esto hubiera sido posible.

Alejandro Triviño



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

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

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

MIGUEL ARMANDO HERAS SÁNCHEZ

DIRECTOR DE CARRERA

f. _____

LUIS SILVIO CÓRDOVA RIVADENEIRA

COORDINADOR DE TITULACIÓN

f. _____

EDUARDO VICENTE MENDOZA MERCHÁN

OPONENTE

Índice General

Índice de Tablas	XII
Índice de Figuras.....	XIII
Resumen	XVI
Abstract	XVII
Introducción	2
CAPITULO I.....	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.....	7
1.5. Hipótesis.....	7
1.6. Tipo de Investigación y Metodología de la Investigación	7
CAPITULO II.....	9
2.1. Estado del Arte.....	9
2.2 Microcontroladores	13
2.2.1 Arquitectura de los microcontroladores de 32 bits	14
2.2.2 Recursos	16
2.2.3. Aplicaciones	18
2.3. Agentes Inteligentes.....	19
2.3.1 Definición	19
2.3.2. Propiedades de los agentes inteligentes	20
2.3.3. Propiedades del entorno de trabajo de un agente inteligente	20
2.3.4. Clasificación de los agentes.....	21
2.3.5. Arquitectura de agentes inteligentes	23
2.3.6. Sistemas MultiAgente (MAS).....	26
2.4. Metodologías para el desarrollo de agentes inteligentes.....	29
2.4.1. Metodología GAIA	29
2.4.2. Metodología Prometheus	31
2.4.3. Metodología Tropos.....	33
2.4.4. Metodología MaSE	35
2.4.5. Metodología MASINA.....	38
2.5. Lógica Difusa.....	41

2.5.1 Concepto	41
2.5.2 Etapas de la lógica para la obtención de resultados.....	42
2.5.3 Conjuntos difusos	43
2.5.4 Aplicaciones de la lógica difusa	45
2.6. Sistemas contra-incendios	46
2.6.1. Medidas de protección activa	46
2.6.2. Medidas de protección pasiva	50
CAPITULO III.....	52
3.1. Consideraciones iniciales del sistema.....	52
3.1.1. Descripción del sistema.	53
3.1.2 Caracterización del sistema.....	56
3.1.3 Funciones del sistema	57
3.2. Análisis del sistema contra-incendios.....	57
3.2.1. Análisis del espacio físico.-.....	58
3.2.2. Subdivisión del sistema contra incendios.-.....	64
3.2.3. Requerimientos físicos de los subsistemas.....	68
3.3. Definición de la metodología aplicada para el desarrollo de agentes.....	75
3.3.1. Definición de tareas de agentes	76
3.4 Aplicación de la metodología MaSE para el desarrollo de los agentes del sistema contra incendios	79
3.4.1. Captura de los objetivos de los agentes del sistema contra incendios.....	79
3.4.2. Aplicación de casos de uso para el desarrollo de cada agente	80
3.4.3. Refinación de roles del sistema a partir de las tareas de cada agente	82
3.4.4. Descripción de las tareas de cada agente a partir del diagrama de roles del sistema	84
3.4.5. Elaboración del diagrama de clases de agentes del sistema contra incendios.....	87
3.4.6. Elaboración del diagrama de despliegue del sistema contra incendios basado en agentes inteligentes	88
3.5. Simulación del sistema basado en agentes utilizando lógica difusa	90
3.5.1. Diseño del agente de detección utilizando Matlab.....	90
3.5.2. Diseño del agente de alerta evacuación y extinción utilizando Matlab	99
CAPITULO IV	108
4.1. Presentación de resultados del sistema contra incendios basado en agentes inteligentes	108

4.1.1. Resultados referentes al estado del arte.....	108
4.1.2. Resultados del modelado y simulación.....	109
4.1.4. Resultados generales del sistema: descripción, características y funciones.....	110
4.2. Discusión de resultados	112
4.2.1. Análisis de las características del sistema.....	112
4.2.2. Análisis de las funciones del sistema.....	113
4.2.3. Cumplimiento de los objetivos	113
4.2.4. Análisis de la metodología.....	114
4.2.5. Análisis de la hipótesis de investigación	115
4.2.6. Análisis de la solución del problema de investigación	115
CAPITULO V	116
5.1. Conclusiones.....	116
5.2. Recomendaciones.....	117
5.3. Trabajo futuro.....	118
Referencias Bibliográficas.....	119
Referencias de páginas web	121

Índice de Tablas

Capítulo II

Tabla 2.1	30
Tabla 2.2	35
Tabla 2.3	36

Capítulo III

Tabla 3.1	67
Tabla 3.2	67
Tabla 3.3	77
Tabla 3.4	78
Tabla 3.5	94
Tabla 3.6	103

Índice de Figuras

Capítulo II

Figura 2.1. Arquitectura del procesador Cortex-M3	14
Figura 2.2. Estructura de un agente inteligente	20
Figura 2.3. Diagrama de un agente basado en metas	22
Figura 2.4. Diagrama de un agente reactivo simple.....	23
Figura 2.5. Arquitectura por capas con vista horizontal	24
Figura 2.6. Arquitectura por capas con vista vertical	24
Figura 2.7. Diagrama de un agente con capacidad de aprendizaje	25
Figura 2.8. Diagrama de un agente BDI.....	26
Figura 2.9. Estructura típica de un MAS	26
Figura 2.10. Modelo de referencia de agentes basado en FIPA	28
Figura 2.11. Modelo utilizado en la metodología GAIA	31
Figura 2.12. Fases de desarrollo de agentes utilizando la metodología Prometheus.....	33
Figura 2.13. Modelo de roles de la metodología MaSE	37
Figura 2.14. Modelos de MASINA para el análisis.....	39
Figura 2.15. Modelo de inteligencia de MASINA.....	40
Figura 2.16. Modelos de coordinación de MASINA	41
Figura 2.17. Diagrama de bloques con las tres etapas de la lógica difusa... 43	
Figura 2.18. Grafica de valores numéricos de un conjunto nítido.....	44
Figura 2.19. Pulsador de emergencia	48
Figura 2.20. Sirena de alarma	48
Figura 2.21. Rociadores de agua	49
Figura 2.22. Composición de un extintor.....	49
Figura 2.23. Señalización de emergencia	50
Figura 2.24. Disposición de elementos de compartimentación horizontal en un edificio.....	51

Capítulo III

Figura 3.1. Plano tomado como ejemplo para la colocación del sistema contra incendios.....	53
Figura 3.2. Arquitectura del MAS para el control de incendios	54
Figura 3.3. Diagrama de flujo del funcionamiento general del sistema	55
Figura 3.4. Plano del laboratorio para la explicación de sus componentes.. 58	
Figura 3.5. Plano con la ubicación de sensores y actuadores del sistema .. 59	
Figura 3.6. Simbología de elementos del plano del laboratorio	60
Figura 3.7. Cobertura individual de los rociadores de agua y CO2	61
Figura 3.8. Cobertura de los detectores de humo.....	61
Figura 3.9. Cobertura de los sensores de presencia y actuadores luminosos y sonoros	62
Figura 3.10. Cobertura de los diferentes sensores para el control del entorno	63

Figura 3.11. Cobertura de los sensores termovelocimétricos.....	63
Figura 3.12. Diagrama de flujo del subsistema de detección	65
Figura 3.13. Diagrama de flujo del subsistema de alerta, evacuación y extinción.....	66
Figura 3.14. Esquema de conexión del sensor DS18B20	68
Figura 3.15. Esquema de conexión de detector de humo	69
Figura 3.16. Esquema de conexión de sensor de llama DFR0076	70
Figura 3.17. Esquema de conexión detector termovelocimétrico	70
Figura 3.18. Cobertura típica de un rociador para incendio.....	71
Figura 3.19. Conexión de luces de emergencia 12V	72
Figura 3.20. Esquema de conexión de una sirena.....	73
Figura 3.21. Esquema de conexión y cobertura de un sensor de presencia	73
Figura 3.22. Extractores de humo en funcionamiento	74
Figura 3.23. Diagrama de metas del agente de detección	79
Figura 3.24. Diagrama de metas del agente de alerta, evacuación y extinción	80
Figura 3.25. Diagrama de casos de uso del agente de detección.....	81
Figura 3.26. Diagrama de casos de uso del agente de alerta, evacuación y extinción.....	82
Figura 3.27. Diagrama de roles del sistema basado en agentes inteligentes	83
Figura 3.28. Diagrama de estado del agente de detección	85
Figura 3.29. Diagrama de estado del agente de alerta, evacuación y extinción.....	86
Figura 3.30. Bloque de clases del agente de detección	87
Figura 3.31. Bloque de clases del alertador y evacuador del agente	88
Figura 3.32. Bloque de clases del extinguidor del agente	88
Figura 3.33. Diagrama de despliegue del sistema contra incendios basado en agentes	89
Figura 3.34. Diseño del agente de detección aplicando lógica difusa en Matlab	90
Figura 3.35. Grafica de los rangos del sensor de temperatura utilizados para la simulación.....	91
Figura 3.36. Grafica de los rangos del sensor de humo utilizados para la simulación.....	91
Figura 3.37. Gráfica de los rangos del sensor llama utilizados para la simulación.....	92
Figura 3.38. Gráfica de los rangos del sensor termovelocimétrico utilizados para la simulación.....	92
Figura 3.39. Gráfica de los rangos de los mensajes de alerta utilizados para la simulación	93
Figura 3.40. Pantalla de inicio para la simulación del agente de detección .	96
Figura 3.41. Diagrama en barras que indica que no hay riesgo de incendio	96
Figura 3.42. Simulación en Matlab que produce un mensaje de que no hay riesgo de incendio.....	97
Figura 3.43. Diagrama en barras que indica que hay riesgo medio de incendio.....	97

Figura 3.44. Simulación en Matlab que produce un mensaje de riesgo medio de incendio.....	97
Figura 3.45. Diagrama en barras que indica que hay riesgo alto de incendio	98
Figura 3.46. Simulación en Matlab que produce un mensaje de riesgo alto de incendio.....	98
Figura 3.47. Diagrama en barras que indica que hay un incendio en desarrollo	98
Figura 3.48. Simulación en Matlab que produce un mensaje de incendio en desarrollo	99
Figura 3.49. Diseño del agente de alerta, evacuación y extinción aplicado lógica difusa	99
Figura 3.50. Gráfica de los rangos del sensor de presencia utilizados para la simulación	100
Figura 3.51. Gráfica de los rangos de las luces de emergencia utilizados para la simulación	100
Figura 3.52. Gráfica de los rangos de las sirenas utilizados para la simulación	101
Figura 3.53. Gráfica de los rangos de los rociadores utilizados para la simulación	101
Figura 3.54. Gráfica de los rangos de los indicadores de evacuación utilizados para la simulación.....	102
Figura 3.55. Gráfica de los rangos de apertura de puertas utilizados para la simulación	102
Figura 3.56. Gráfica de los rangos de extractores de humo utilizados para la simulación	103
Figura 3.57. Pantalla de inicio para la simulación del agente de alerta, evacuación y extinción.....	104
Figura 3.58. Diagrama en barras que indica que hay riesgo medio de incendio.....	105
Figura 3.59. Simulación en Matlab cuando se recibe un mensaje de no existencia de riesgo en presencia de personas	105
Figura 3.60. Diagrama en barras que indica que hay riesgo medio de incendio.....	105
Figura 3.61. Simulación cuando se recibe un mensaje de riesgo medio de incendio sin presencia de personas	106
Figura 3.62. Diagrama en barras que indica que hay riesgo medio de incendio.....	106
Figura 3.63. Simulación en Matlab cuando se recibe un mensaje de riesgo alto de incendio en presencia de personas.....	106
Figura 3.64. Diagrama en barras que indica que hay riesgo medio de incendio	107
Figura 3.65. Simulación cuando se recibe un mensaje de incendio en desarrollo en presencia de personas	107
Figura 3.66. Modelo del sistema contra incendios elaborado en Simulink .	107

Resumen

El presente trabajo de titulación está orientado al análisis, modelado y simulación de un sistema multiagente inteligente (MAS) aplicado a un sistema contra incendios ubicado en un laboratorio universitario, en el cual se ha adaptado las metodologías existentes de desarrollo de agentes, debido a que estas técnicas son mayormente aplicadas para la resolución de problemas en sistemas informáticos. Esto se logró mediante la selección de la Metodología MaSE como punto de partida para el desarrollo de cada agente de manera individual. Se ha utilizado el método de investigación bibliográfico y analítico, los cuales permitieron recopilar información sobre los fundamentos principales de la teoría de agentes y analizar su estructura básica. Como resultados se realizó el modelado del sistema utilizando AgentTool, software que brinda soporte mediante diagramación UML para el diseño de cada agente, y posteriormente se simuló dicho sistema utilizando lógica difusa mediante Matlab y Simulink, lo cual permitió verificar su correcto funcionamiento en base a las condiciones iniciales establecidas. La elaboración de este trabajo permitió comprobar que el uso de agentes inteligentes le brinda mayor autonomía a cualquier tipo de sistema en el que se aplique, haciendo que este opere de manera automática, eficiente y principalmente permitiendo que se ajuste a los cambios que pueden producirse en el entorno en el cual se encuentre.

Palabras Clave: MaSE, AgentTool, UML, agentes inteligentes, sistemas contra incendios, lógica difusa, Matlab y Simulink.

Abstract

The present degree work is oriented to the analysis, modeling and simulation of an intelligent multiagent system (MAS) applied to a fire system located in a university laboratory, in which, were adapted the existing methodologies of agent development, due to these techniques are mainly applied for the resolution of problems in computer systems. This was achieved by selecting the MaSE Methodology as a starting point for the development of each agent individually. The methods used were the bibliographic and analytical, which allowed gathering information about the main foundations of agent theory and analyzing its basic structure. As a result, it was carried out the modeling of the system using AgentTool, software that provides support through UML tools for the design of each agent, and later that system was simulated using fuzzy logic through Matlab and Simulink, which allowed verifying its correct functioning based on the initial conditions established. The elaboration of this work allowed to verify that the use of intelligent agents gives greater autonomy to any type of system in which it is applied, making it operate automatically, efficiently and mainly allowing it to adjust to the changes that may occur in the environment in which it is.

Key Words: MaSE, AgentTool, UML, intelligent agents, fire systems, fuzzy logic, Matlab and Simulink.

Introducción

La inteligencia artificial (IA) es una rama de la ciencia que desde hace unos pocos años está teniendo un gran crecimiento, haciendo que muchos hombres de ciencia e investigadores se encuentren estudiando nuevos métodos para su implementación. Todos los métodos acerca de la inteligencia artificial (IA) que actualmente existen, nacieron del deseo de igualar o por lo menos aproximar el pensamiento y el comportamiento de un ser humano, a la resolución de problemas en diversos sectores como la industria, la robótica, el transporte, la seguridad e inclusive en labores de la vida cotidiana. La idea de utilizar estos métodos es encontrar soluciones novedosas, mejor planeadas y eficientes.

Dentro de la inteligencia artificial (IA) uno de los tantos conceptos que se encuentran inmersos es el de “Agentes Inteligentes”. Los agentes inteligentes son entidades que tienen la capacidad de actuar de manera autónoma y racional con la finalidad de alcanzar el resultado esperado, todo esto mediante el uso de sensores y actuadores, los cuales le permiten analizar su entorno y actuar en base a lo que observan. Gracias a esto, los agentes tienen la capacidad de aprender de sus experiencias y utilizar esa información en actividades futuras.

El concepto de agentes y sistemas multiagentes inteligentes (M.A.S) es utilizado en gran medida en el área de la informática, habiendo inclusive varias herramientas y aplicaciones software que permiten hacer uso de ellos. De manera similar se requiere aplicar estas técnicas de inteligencia artificial en otras áreas como la automatización de procesos, sistemas domóticos, sistemas inmóticos, sistemas industriales, entre otros. Analizando esta situación se decidió elaborar este trabajo investigativo, que tiene como objetivo principal analizar la arquitectura de un sistema multiagente distribuido a través del modelado con diagramación UML y lógica difusa para diseñar un sistema contra incendios aplicado a un laboratorio universitario, para lo cual se utilizó la investigación de tipo correlacional para poder predecir el comportamiento del sistema mediante la relación de variables existentes. También se hizo uso del método bibliográfico para obtener

literatura científica afín al tema, así como el método analítico para poder analizar los M.A.S desde su estructura básica. Con esto se busca presentar herramientas que permitan la implementación de sistemas de agentes inteligentes y M.A.S en múltiples campos de la ciencia.

En este documento se presenta de forma detallada todo el proceso realizado para el modelado de un sistema contra incendios basado en agentes inteligentes. Gracias al uso de la lógica difusa como técnica de inteligencia artificial, se puede crear un ambiente más apegado a la realidad, ya que dicha técnica permite trabajar con múltiples reglas de inferencia, con lo cual se puede verificar todos los casos posibles que puedan presentarse. La idea de aplicar el trabajo a un sistema contra incendios se da porque este tipo de sistemas es fundamental en cualquier sector, ya sea público, privado, doméstico, entre otros, y se requiere preservar la integridad de las personas y sus bienes ante la inesperada presencia de un siniestro de esta naturaleza.

Para la elaboración del presente trabajo se empezó por la identificación del problema de investigación que se pretendía resolver. El siguiente paso fue la búsqueda de información científica sobre la teoría de agentes inteligentes. Se realizó un análisis comparativo con las metodologías más utilizadas para el desarrollo de agentes y se optó por utilizar MaSE por ser aquella que permite realizar un análisis más detallado del sistema y de cada agente en particular. Se analizaron las especificaciones técnicas de sensores y actuadores para determinar aquellos dispositivos que sería más conveniente utilizar. Mediante técnicas de diagramación UML se desarrolló el modelado del sistema y finalmente aplicando la técnica de lógica difusa se procedió a realizar una simulación para constatar el correcto funcionamiento del sistema.

Se espera que este trabajo investigativo sea el punto de partida para estudios futuros, pues se conoce que no existen muchos trabajos de este tipo en el país, y sería de gran utilidad aplicar este concepto de inteligencia artificial para mejorar el funcionamiento de varios sistemas. Sin más que agregar se extiende la invitación de continuar con la lectura del presente trabajo, con los capítulos detallados a continuación.

CAPITULO I

ASPECTOS GENERALES

En el presente capítulo se describirán los principales aspectos del trabajo de titulación seleccionado. Primero se identificara el problema que se pretende solucionar justificando el desarrollo del trabajo mencionado. A partir de esto se realizará la respectiva delimitación y se redactarán los objetivos que se deberán cumplir dentro del proceso de desarrollo del trabajo. Finalmente se planteará la hipótesis respectiva y la metodología que se utilizará.

1.1. Planteamiento del problema

Actualmente, la inteligencia artificial (I.A) tiene un gran auge, debido a que miles de científicos e investigadores constantemente se encuentra en el desarrollo de nuevas tecnologías en dicha área, razón por la cual su empleo es cada vez más común, tanto a nivel automotriz, sistemas de vigilancia, sistemas domóticos e inmóticos, así como en muchos procesos a nivel de grandes industrias. La idea de utilizar estos métodos es resolver problemas de una manera más eficiente y sin muchos errores. Dentro de la I.A se encuentra inmerso el concepto de agentes inteligentes y sistemas multiagentes (M.A.S), el cual a pesar de no ser un tema tan nuevo, no es muy utilizado para la resolución de problemas en el área de la Automatización, debido principalmente a las limitaciones de recursos en equipos electrónicos.

Los sistemas multiagentes inteligentes, permiten la resolución de problemas en el área de la informática de forma satisfactoria, permitiendo generar sistemas muy robustos debido a las características inherentes en los mismos. De forma similar se requiere en el área de la electrónica y control, aplicar estas técnicas de inteligencia artificial distribuida para solucionar problemas, sin tener que recurrir al diseño de sistemas muy sofisticados y complejos, sin embargo, las soluciones encontradas son aplicaciones orientadas a la informática, las cuales no son directamente migrables a sistemas basados en microcontroladores ni autómatas programables, por lo que se requiere que estas metodologías y herramientas se adapten para

diseñar agentes inteligentes que puedan ser alojados en un sistema implementado con microcontroladores.

Sin embargo, la tarea antes mencionada presenta la limitación de la poca existencia de información para su desarrollo, esto se debe a que los M.A.S., generalmente son manejados a partir de software y aplicaciones de computadora, lo cual hace de esto una tarea más compleja. Con respecto a la aplicación para la cual se hará uso el M.A.S., cabe mencionar que a pesar de la existencia de sistemas contra incendios de última tecnología, en muchos de los casos estos sistemas no son totalmente autónomos, requiriendo la presencia de operadores humanos para ciertas tareas, lo cual es una limitación que en momentos de emergencia se pretende evitar, para que el sistema pueda funcionar de una manera mucho más eficiente y sobretodo se pueda salvaguardar la integridad de las personas y sus bienes.

En base a lo expuesto, se ha planteado la siguiente pregunta de investigación:

¿Es posible adaptar las metodologías existentes en sistemas informáticos para el desarrollo de sistemas multiagente inteligente, al desarrollo en sistemas basados en microcontroladores?

1.2. Justificación

Los M.A.S se consideran en la actualidad una alternativa muy eficiente para la solución de problemas relacionados a la automatización de sistemas complejos y distribuidos, con características de flexibilidad y escalabilidad, tal como se encuentran en sistemas domóticos, inmóticos, industriales, entre otros, por lo que su estudio se hace necesario para la electrónica en control y automatismo.

La razón principal para realizar un estudio de este tema se debe a que no hay suficiente literatura científica, ni tampoco se encuentran estudios prácticos y experimentales que estén orientados a microcontroladores, por lo cual, la programación de los M.A.S en microcontroladores permitirá que las aplicaciones basadas en estas técnicas de inteligencia sean versátiles y con una arquitectura escalable, gracias a esto sus limitaciones dependerán del propio dispositivo en el que se encuentren alojados, como también de los

sensores, actuadores y demás elementos que estén ligados a ellos. Una gran ventaja es que constantemente los fabricantes de microcontroladores mejoran sus características y prestaciones, o desarrollan modelos nuevos lo que permitirá que los M.A.S también puedan mejorar su funcionamiento.

La ventaja de utilizar inteligencia artificial distribuida se debe a que los sistemas desarrollados a partir de estos métodos de IA, tienen la capacidad intrínseca de interactuar, colaborar, tomar decisiones y aprender de sus acciones, entre otras características relevantes. Estas especificaciones incluidas en un sistema contra incendios, permitirá que este tenga un mejor desempeño para detectar y extinguir este tipo de siniestros cuando se presenten, salvaguardando la integridad de las personas y bienes materiales.

1.3. Delimitación

El área de investigación en la cual se centrará el trabajo de titulación está orientado a la Automatización e Inteligencia artificial, principalmente en lo que corresponde al desarrollo de entornos inmóticos utilizando sistemas inteligentes distribuidos. Este trabajo se presentará mediante un modelado del sistema, para lo cual se utilizará técnicas de modelado de sistemas de eventos discretos, siendo una de las herramientas más utilizadas en estos casos el Lenguaje de Modelado Unificado (U.M.L), que permitirá definir de forma muy puntual las características del sistema propuesto. La implementación de un prototipo basado en microcontroladores de 32 bits se dejará para un trabajo futuro, sin embargo, el estudio realizado en esta etapa, facilitará considerablemente esta tarea.

1.4. Objetivos

Los objetivos que se plantean para el desarrollo del presente trabajo se presentan a continuación:

1.4.1. Objetivo General

Analizar la arquitectura de un sistema multiagente distribuido a través del modelado con U.M.L y lógica difusa para diseñar un sistema contra incendios aplicado a un laboratorio universitario.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Conocer los fundamentos de los sistemas multiagente distribuido a través de una búsqueda bibliográfica de literatura científica afín al tema.
- Proponer una metodología para el diseño de sistemas multiagentes a través de una comparativa y evaluación de las metodologías existentes.
- Evaluar el modelado del sistema contra-incendios utilizando simuladores que permitan determinar su funcionamiento adecuado y posibilidades de fallo.

1.5. Hipótesis

Mediante el uso de agentes inteligentes distribuidos en el sistema contra incendios, se espera reducir la intervención de operadores humanos para su funcionamiento, así como mejorar considerablemente su eficacia en todas sus etapas (antes, durante y después de un incendio), esto será posible mediante el correcto desarrollo de cada agente según la metodología seleccionada, el modelado del mismo y su posterior programación en un microcontrolador. En este trabajo de titulación se plantea que:

“Con el desarrollo de una metodología de modelado se reduce la dificultad de la implementación física del sistema y se garantiza la obtención de una alta eficiencia en su funcionamiento”.

1.6. Tipo de Investigación y Metodología de la Investigación

En el presente trabajo de titulación, el tipo de investigación que se realizará es de tipo Correlacional, este tipo de investigación permite determinar las relaciones existentes entre dos variables, para poder determinar o predecir el comportamiento de un sistema. En este caso la variable independiente corresponde a la Arquitectura de los agentes, mientras que la variable dependiente corresponde al Funcionamiento del Sistema. La relación que se da entre estas variables permite determinar el grado de influencia de la arquitectura frente al comportamiento de los agentes inteligentes como elementos sociables.

El enfoque que se utilizará en este trabajo será mixto (cuali-cuantitativo) ya que se realizará tanto una medición y análisis de los datos obtenidos, como

también determinar y describir las principales cualidades del sistema. Es de entender que los agentes inteligentes se asocian con cualidades como proactividad, sociabilidad, cooperatividad, autonomía, etc., que no son precisamente de corte cuantitativo.

Con respecto al método de investigación, se utilizó tanto el método bibliográfico para obtener los fundamentos teóricos mediante una búsqueda exhaustiva de información en diferentes fuentes, trabajos e investigaciones existentes; así como también el método analítico, el cual permite analizar los sistemas multiagentes inteligentes desde su estructura básica para poder determinar un modelo del sistema que funcione de acuerdo a las especificaciones planteadas.

En base al tipo de investigación, el enfoque y metodología seleccionada, se plantean los siguientes pasos dentro del diseño de investigación del trabajo de titulación:

- Identificación del problema que se resolverá con el desarrollo de la investigación así como las soluciones al mismo.
- Búsqueda de información en diferentes fuentes como artículos científicos, libros, investigaciones previas, acerca del tema del proyecto.
- Análisis del espacio físico que será tomado como referencia para el desarrollo del sistema basado en agentes.
- Determinar la cantidad y el tipo de sensores y actuadores que serán utilizados en el espacio físico en el cual se colocará el sistema.
- Definir el proceso de funcionamiento del sistema utilizando diagramas de flujo.
- Análisis comparativo de las metodologías de construcción de agentes para seleccionar aquella que sea la más conveniente para ser utilizada en el trabajo.
- Modelado del sistema multiagente haciendo uso de la metodología seleccionada.
- Diseño del sistema mediante herramientas de modelado.
- Realizar la respectiva simulación del sistema para comprobar su correcto funcionamiento.
- Análisis y discusión de resultados obtenidos en el trabajo realizado.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Estado del Arte

La inteligencia artificial es quizá una de las disciplinas más nuevas que existen, que en los últimos años ha despertado el interés por ciertos sectores tanto tecnológicos, de investigación, medicina e incluso de carácter industrial. Dentro de este campo ha surgido el paradigma de los agentes inteligentes y sistemas multiagentes (M.A.S), es decir, entidades que pueden llegar a resolver problemas complejos que muchas veces no pueden ser resueltos mediante técnicas convencionales, con la característica que dichas entidades tienen la capacidad de analizar su entorno, aprender de él y tomar decisiones por su propia cuenta, razón por la cual han sido aplicados en varias áreas como producción, control del tráfico, medicina, juegos, entre otras. En este apartado se darán a conocer los últimos avances y trabajos que han sido realizados en base a los agentes y M.A.S aplicados a varios campos.

Según Camargo, Hernández y Rodríguez (2015) en el trabajo titulado: “Sistema de transporte y embalaje utilizando robótica cooperativa basada en teoría de colonias de hormigas” se implementó un sistema que está destinado a la selección y embalaje, etapas finales en la gran mayoría de los procesos que se dan en la industria. Para esto se estudió el comportamiento que tienen las hormigas en las colonias, principalmente al momento de recolectar alimento. Luego se realizó la respectiva maqueta del proceso, así como los agentes robóticos inteligentes que se encargaran de actuar en el ambiente simulado para finalmente realizar las pruebas correspondientes. El problema fue abordado utilizando agentes robóticos con varias características, los cuales trabajaban emulando la organización de una colonia de hormigas, haciendo un proceso eficiente, eficaz y de gran flexibilidad ante cambios en la producción.

Según Castan (2014) en el trabajo titulado: “Control de tráfico basado en agentes inteligentes” se presenta un modelo basado en agentes inteligentes para la manipulación de las fases de una infraestructura de semáforos. Actualmente se utiliza la tecnología basada en microcontroladores, sin embargo estos sistemas no son flexibles a los cambios que puedan darse. Por lo tanto se presenta una aplicación que usa lógica difusa para el control multiagente de un semáforo autónomo. Se realizó un estudio de la cantidad de vehículos que pasan por cada intersección así como el tiempo de trabajo de cada semáforo. Posteriormente se procedió a la generación de un simulador en que se considera el uso de un agente para cada semáforo, permitiendo su interacción. La aplicación desarrollada ofrece un nivel de autonomía total, mediante la cual cada semáforo tiene capacidad de mejorar su nivel de servicio en tiempo real, permitiendo también la comunicación entre ellos permitiendo intercambiar tiempos de ciclo.

Según Cruz (2007) en el trabajo titulado: “Sistema multiagente de monitoreo aplicado a cuidados neonatales” se desarrolló un sistema que permite detectar episodios de apnea-bradicardia e inmediatamente activar una terapia para detener estos episodios en neonatos. Se definió una arquitectura basada en agentes, en la cual cada uno de ellos interviene en las etapas de adquisición, procesamiento de información, diagnóstico del cuadro y finalmente la terapia respectiva. Este sistema fue sometido a etapas de evaluación con 40 pacientes aproximadamente, logrando disminuir en el tiempo de detección de bradicardia de 7.23 latidos a -2.24 latidos. Los resultados presentados son de gran importancia ya que disminuye el tiempo de hospitalización, decrecen los retardos de tratamientos, se reduce el riesgo por apnea-bradicardia prolongada. Además se llegó a la conclusión de que el sistema permite una intervención adecuada, evitando daños neurológicos e incluso la muerte del neonato.

Según Parada y Alarcón (2012) en el trabajo titulado: “Modelado e implementación de un sistema multiagente para el diagnóstico de enfermedades de transmisión sexual” se presenta una aplicación informática basada en MAS como herramienta de estudio para la prevención de las ETS, con la finalidad de evitar complicaciones innecesarias que se

presentan por falta de información o conocimiento sobre este tema. En la realización del sistema se estudiaron y analizaron las diferentes arquitecturas, metodologías y plataformas para la creación de agentes. Posteriormente se procedió al desarrollo de la interfaz del usuario y la programación de los respectivos agentes a utilizar. En el sistema se podrá ingresar los síntomas característicos de cada enfermedad para su posterior prevención; de esta manera el agente encargado podrá aprender, identificarlas posteriormente y dar un diagnóstico al usuario. El sistema desarrollado ofrece al sector académico una herramienta para solucionar dudas sobre las ETS, las cuales muchas veces no son fáciles de abordar frente a un especialista.

Según Martínez y Giral (2017) en el trabajo titulado: “OpenRRArch: una arquitectura abierta, robusta y confiable para el control de robots autónomos”, se propone una arquitectura para el diseño de sistemas multirobot de naturaleza autónoma, los cuales faciliten los trabajos en laboratorio. Se utilizó Linux como plataforma de desarrollo y un sistema embebido de 32 bits a 80Mhz para la implementación de los respectivos agentes, demostrando ser una solución eficiente y muy económica. Un grupo de robots fue dotado con capacidad de comunicación Wifi, capacidad de localización del ambiente, así como un algoritmo que le permite la navegación, llegando a ser versátil, robusto y con escalabilidad. La arquitectura que se propuso, es una solución económica para el desarrollo de M.A.S, permitiendo una rápida implementación con capacidad de cooperación y comunicación en tiempo real.

Según González y Postay (2017), en el trabajo titulado: “Aprendizaje autónomo en sistemas inteligentes” se desarrolló un algoritmo de aprendizaje para agentes inteligentes. Para ello se realizó un estudio sobre la forma en que el ser humano adquiere conocimientos, aplicando las teorías de aprendizaje que han sido desarrolladas, tal como la teoría del procesamiento de información, genético-cognitiva, genético-dialéctica, entre otras, todo esto con la finalidad de dotar al agente desarrollado con sistemas embebidos, de estas características para que pueda desenvolverse en un ambiente determinado y analizar el tiempo que tarda en aprender una

instrucción. Se realizaron varias pruebas para el agente con diferentes situaciones en el entorno, llegando a la conclusión que mientras más veces se produzca el mismo evento, se mejora el aprendizaje del agente.

Según Gualotuña (2015), en el trabajo titulado: “Diseño de una plataforma de agentes para control de servicios de video streaming móvil” se ha definido un modelo basado en proxies para realizar el control de las interrupciones que se producen en los videos streaming. Se desarrollaron agentes de tipo ontológicos lo cuales ante la presencia del problema antes mencionado, ejecuta patrones que le permitan al usuario retomar el video desde el punto de quiebre y no tener que verlo desde el inicio o salir del mismo, además se trabajó con el servidor de video streaming interno de un microcontrolador utilizando el estándar H.264; todo esto aplicado al área de la domótica para el monitoreo de sensores a través de un modelo a escala de una casa. Se logró desarrollar esta propuesta en base a un modelo básico, logrando reducir el impacto negativo de una transmisión y mejorar la experiencia del usuario en este tipo de servicios.

Según Villavicencio (2016), en el trabajo titulado: “Prototipo de un sistema multiagente para la automatización de invernaderos” se presenta la construcción de un sistema que permite controlar sensores y actuadores que son muy utilizados en los diversos procesos que se dan en un invernadero. La realización de este trabajo se debe a la presencia de errores al momento de ejecutar tareas, las cuales dejan al descubierto que la mayoría de las veces la labor de los agricultores no se da con la precisión necesaria que se requiere. Para el desarrollo del proceso en primer lugar se determinaron aquellos procesos que podían ser automatizados, las ventajas que esto conlleva y las desventajas que se presentan por la falta de precisión en los procedimientos para finalmente realizar la respectiva implementación del sistema. La automatización de estos procesos permitió mejorar el estado de las plantas del invernadero, ya que se realizó un mejor monitoreo y control de variables como humedad, temperatura, entre otras.

Según Ovalle, Acosta y Jiménez (2014), en el trabajo titulado: “Arquitectura de un ambiente multiagente robótico para la navegación colaborativa” se

presenta una arquitectura MAS adaptada a un grupo de robots con diferentes sensores y actuadores, con la finalidad que puedan desenvolverse en un determinado ambiente y cooperar entre ellos para realizar varias tareas asignadas. La arquitectura propuesta se basa en 4 agentes, uno explorador que se encarga de mapear el entorno de trabajo y determinar mediante algoritmos de triangulación la ubicación de obstáculos, para luego transferir esta información a los 3 agentes restantes que se encargan de ejecutar diversas tareas. Se busca que cada agente posea varios sistemas de locomoción y percepción, lo cual garantiza que las tareas se lleven a cabo exitosamente, aun cuando algún agente falle, logrando que otro de ellos ocupe este espacio automáticamente.

Según Canedo et al. (2012), en su trabajo titulado: “Sistema multiagente para el rápido despliegue de un robot guía” se presenta un MAS que consiste en cámaras inteligentes y robots autónomos, el cual permite mediante las cámaras que posea, identificar situaciones en las que se requiera el uso de un robot, permitiendo que este se desplace automáticamente hasta el área requerida sin necesidad del reconocimiento del espacio. En este caso se presenta un comportamiento adaptativo basado en seguimiento, característica básica para el desarrollo y comportamiento de los agentes. Los resultados obtenidos confirman que el sistema se adapta a condiciones difíciles, evitando distracciones y concentrándose en el objetivo determinado, además el agente es capaz de evitar colisiones en cualquiera de los entornos en que se encuentre.

2.2 Microcontroladores

Según Limones (2012), un microcontrolador es un circuito integrado, dentro del cual se ha integrado una unidad central de proceso conocida como CPU, así como también memorias (RAM, ROM), periféricos y puertos de entrada y salida. En este apartado se orienta a analizar brevemente la arquitectura y características de la familia STM32, fabricado por STMicroelectronics. Esta línea de microcontroladores se tomara como referencia para el desarrollo del presente trabajo orientado al estudio de los agentes inteligentes.

La familia de microcontroladores STM32, está basada en un núcleo ARM de 32 bits, dentro de los cuales se pondrá especial atención a los microcontroladores basados en un núcleo CórteX M3, de los cuales se explicará sus características principales, arquitectura, recursos y las aplicaciones, puesto que el presente estudio se basará en esta línea en especial.

2.2.1 Arquitectura de los microcontroladores de 32 bits

La arquitectura del núcleo Cortex-M3 consiste básicamente de un procesador de 32 bits. Este núcleo posee una arquitectura del tipo Harvard, lo cual significa que usa interfaces separadas para la búsqueda de instrucciones; esto ayuda a asegurar que el procesador no se quede corto de memoria, ya que permite acceder de manera simultánea a los datos y a las instrucciones de memoria. El procesador Cortex-M3 es la unidad central de proceso del chip del microcontrolador. En la Figura 2.1 puede apreciarse la arquitectura de este procesador.

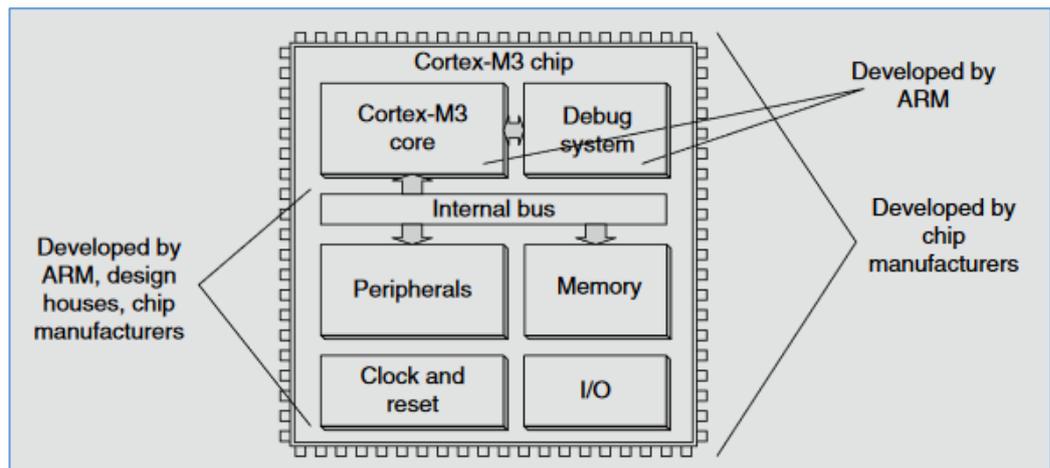


Figura 2.1. Arquitectura del procesador Cortex-M3
Fuente: Yiu (2010)

El procesador provee un conjunto de instrucciones de 16 bits, lo cual hace posible dos instrucciones por espacio de memoria, junto a un pequeño conjunto de instrucciones de 32 bits para poder admitir operaciones más complejas. El procesador Cortex-M3 es una arquitectura de carga/almacenamiento que tiene tres tipos básicos de instrucciones: operaciones de registro para el procesamiento de datos, operaciones de

memoria con datos móviles entre memoria y registros y operaciones de flujo de control. Según Yiu (2010), en esta versión de procesador, el diseño de la arquitectura se encuentra dividida en tres perfiles:

- i) El Perfil A:** diseñado para aplicaciones de plataformas abiertas de alto rendimiento, así como sistemas operativos embebidos. Ejemplos de estos productos son teléfonos móviles de alta gama y billeteras electrónicas para transacciones financieras.
- ii) El Perfil B:** diseñado para sistemas embebidos de alta gama en los que se necesita un desarrollo en tiempo real. Estas aplicaciones como sistemas de frenado de alta gama controladores de disco duro, en los cuales un alta potencia de procesamiento y alta fiabilidad son esenciales.
- iii) El Perfil M:** diseñado para sistemas embebidos basados en microcontroladores profundos. Dirigidas para aplicaciones de bajo costo en las cuales la eficiencia de procesamiento es importante, como por ejemplo aplicaciones de control industrial, incluyendo aplicaciones en tiempo real.

2.2.1.1 Características principales de los STM32

Según Brown (2016), las características principales de los microcontroladores de 32 bits son los siguientes.

- i) Reloj y Re-inicialización:** Posee una red de distribución de reloj compleja, la cual asegura que solamente los periféricos que se necesita utilizar sean alimentados. Este sistema recibe el nombre de Control de Reloj y Re-inicialización.
- ii) Periféricos:** Los periféricos se encuentran organizados en tres grupos distintos llamados APB1, APB2, AHB. Los periféricos del grupo APB1 incluyen los dispositivos I2C, USART, SPI. Los periféricos APB2, incluyen los puertos GPIO, controladores ADC. Finalmente los periféricos AHB, están orientados a incluir los controladores DMA e interfaces de memoria externa para algunos dispositivos.

- iii) **E/S (Entrada- Salida):** La gran mayoría de los pines del microcontrolador pueden ser configurados como entrada o salida y pueden ser conectados a los puertos GPIO o a otros periféricos. Como una forma de nomenclatura estándar, los pines son nombrados en base a la función del puerto GPIO, por ejemplo el puerto PA0 (bit 0 del puerto A), PB9 (bit 9 del puerto B), etc.

2.2.2 Recursos

En este apartado se presentan los recursos más relevantes que posee un microcontrolador (en este caso se hablara del microcontrolador STM32) como sus comunicaciones, temporizadores, convertidores análogo- digital y viceversa, y en cada uno se explicara brevemente sobre sus características. La información de cada uno de los recursos ha sido tomada del libro *Discovering the STM32 Microcontroller* de Creative Commons.

2.2.2.1 Comunicación Serial Asíncrona. La comunicación serial asíncrona en su forma más primitiva, es implementada a través de un par de cables simétricos, los cuales conectan dos dispositivos. Un dispositivo comúnmente utilizado para codificar y decodificar los bits asíncronos es el Receptor/ Transmisor Universal Asíncrono, conocido como UART, el cual convierte bytes de datos previsto por software en una secuencia individual de bits. El procesador STM32 incluye hasta 5 dispositivos llamados USARTs, utilizados para la transmisión y recepción universal síncrona/ asíncrona, ya que soportan modos de comunicación adicionales más allá de los modelos básicos asíncronos. Los USARTs también pueden ser utilizados para interactuar con una amplia variedad de otros periféricos.

2.2.2.2 Interfaz Serie Paralelo (SPI). El bus SPI es una interfaz en serie ampliamente utilizada para la comunicación con muchos dispositivos de hardware comunes, como pantallas, tarjetas de memoria y sensores. Los procesadores STM32 tienen múltiples interfaces SPI y cada una de estas interfaces se puede comunicar con múltiples dispositivos. El STM32 puede ser configurado tanto en forma de maestro como de esclavo. Por ejemplo el microcontrolador STM32F2103RC tiene 3 SPI.

2.2.2.3 Protocolo I2C. I2C es el mayor protocolo utilizado para la interfaz con módulos externos. Este protocolo es usado para conectar uno o más maestros con uno o más esclavos. Ejemplos de estos dispositivos incluyen sensores de temperatura, humedad, movimiento, y las memorias EEPROM. El microcontrolador STM32F2103RC tiene 2 I2C. I2C posee condiciones de error múltiples, a diferencia de la comunicación SPI la cual no tiene condición de error en el nivel físico, además de ser un bus mucho más rápido (1-3 Mbits/segundo) en comparación con I2C (100-400 Kbits/segundo). Sin embargo, la gran ventaja que I2C tiene sobre SPI es que el número de cables requeridos por I2C es constante (2), independientemente del número de dispositivos conectados, en tanto que SPI requiere una línea de cables separados para cada dispositivo.

2.2.2.4 Temporizadores. Los STM32 tienen diferentes tipos de temporizadores, los cuales varían en su modo de configuración. Los temporizadores más simples (TIM6 y TIM7) están limitados a la generación de señales a una frecuencia conocida o pulsos de un ancho fijo. Mientras que los temporizadores más sofisticados agregan hardware adicional para utilizar una frecuencia generada. El temporizador del STM32 tiene un pre-escalador de 16 bits y puede dividir el reloj de referencia en valores desde 1-65535. También existen otras opciones de configuración para los temporizadores del STM32, incluyendo mecanismos para sincronizar múltiples temporizadores entre ellos y a señales externas. El microcontrolador STM32F2103RC tiene hasta 9 temporizadores.

2.2.2.5 Convertidor Digital Analógico (DAC). El STM32 posee un convertidor digital analógico (DAC) de 12 bits con dos canales independientes de salida: DAC1 y DAC2. Estos canales pueden ser configurados en modo de 8 bits o 12 bits y estas conversiones pueden ser realizados de manera independiente o simultánea. El modo simultáneo puede ser utilizado cuando se quiere generar dos señales independientes pero sincronizadas, por ejemplo el canal izquierdo y derecho de un audio estéreo. Un uso común para el convertidor DAC es para generar señales variables en el tiempo.

2.2.2.6 Convertidor Analógico Digital (ADC). El procesador STM32 incluye uno o más periféricos ADC. Este convertidor utiliza aproximación sucesiva; tiene la habilidad de generar un conjunto discreto de voltajes y comparar estos con un voltaje de entrada de muestreo; esto esencialmente realiza una búsqueda binaria para encontrar la mejor aproximación. Para tener una exactitud de 12 bits, el STM32 toma al menos 14 ciclos de reloj, los dos ciclos extras son sobrecarga debido al muestreo. Así, con un reloj de 12MHz, el ADC de este procesador puede desarrollar un muestreo en un poco más de 1us.

2.2.3. Aplicaciones

Según Yiu (2010), con un alto rendimiento y una alta densidad de códigos, el procesador Cortex-M3 es ideal para una amplia variedad de aplicaciones, como las que se nombraran a continuación:

- i) Microcontroladores de bajo costo:** El procesador CórteX- M3 es ideal para microcontroladores de bajo costo, los cuales son comúnmente utilizados en productos de consumo, desde juguetes hasta aplicaciones eléctricas. Su bajo consumo de potencia, alto rendimiento y facilidad de uso han permitido a los desarrolladores migrar a sistemas de 32 bits y poder desarrollar productos con la arquitectura ARM.
- ii) Industria Automotriz:** Este procesador tiene una gran eficiencia, así como baja latencia de interrupción, permitiendo su uso en sistemas basados en tiempo real. Cortex-M3 soporta hasta 240 interrupciones

vectorizadas, con un controlador de interrupción con soportes anidados incorporados, por lo que es ideal para aplicaciones automotrices altamente integradas y de costo razonable.

- iii) **Transmisión de datos:** La baja potencia y alto rendimiento del procesador, hace que el procesador Cortex-M3 sea ideal para una gran cantidad de aplicaciones de transmisión de datos y comunicaciones, como Bluetooth, ZigBee, entre otras.
- iv) **Control Industrial:** En las aplicaciones de control industrial, existen factores claves y muy importantes como la simplicidad, rápidas respuestas, confiabilidad, entre otras. Nuevamente, las características de interrupción, así como sus características mejoradas en el manejo de fallos, hacen que este procesador sea un candidato fuerte en esta área.
- v) **Productos de consumo:** En gran cantidad de los productos de consumo que existen en el mercado se utilizan microcontroladores con procesadores de alto rendimiento. Cortex-M3, siendo un procesador pequeño, es altamente eficiente y bajo en potencia, además de soportar unidades de protección de memoria (MPU), permitiendo la ejecución de software complejo.

2.3. Agentes Inteligentes

En este apartado se presenta un resumen con los conceptos y características más relevantes acerca de los agentes inteligentes y sistemas multi-agente (MAS); además se hablará acerca de las arquitecturas de cada modelo de agente y las metodologías más utilizadas para su implementación.

2.3.1 Definición

Según Aguilar, Ríos, Hidrobo y Cerrada (2013), un agente inteligente es un sistema de tipo informático, el cual es capaz de ejecutar acciones de manera autónoma dentro de un entorno, con la finalidad de alcanzar sus objetivos. La Figura 2.2 muestra la estructura básica que posee un agente inteligente, en ella se puede ver que posee sensores para percibir lo que ocurre en el entorno y actuadores que le permiten responder frente a esos estímulos.

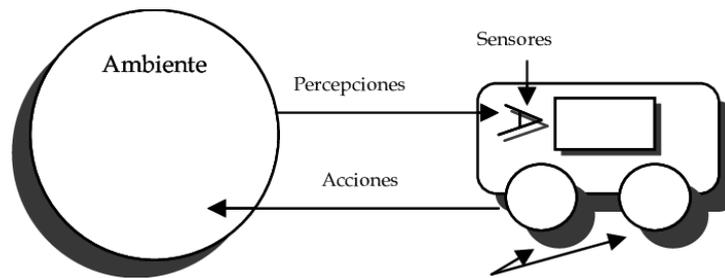


Figura 2.2. Estructura de un agente inteligente
Fuente: (Russell & Norving, 2008)

2.3.2. Propiedades de los agentes inteligentes

Para considerar a un agente como tal, según Russell & Norving (2008), este debe cumplir con algunas propiedades, sin embargo las 3 principales son las siguientes:

- i) **Autonomía:** Capacidad de los agentes para poder actuar sin necesidad de la intervención humana ni otros sistemas externos.
- ii) **Racionalidad:** Un agente no ejecuta acciones si estas no lo conducen a cumplir sus objetivos. Ellos deciden que acción seguir y en momento hacerlo.
- iii) **Inteligencia:** Capacidad de acumular conocimiento (aprender) y usar este conocimiento (razonar). Para lograr que se cumpla esta propiedad, se utilizan técnicas de inteligencia computacional como por ejemplo redes neuronales, lógica difusa, sistemas expertos, entre otras.

2.3.3. Propiedades del entorno de trabajo de un agente inteligente

El ambiente o entorno del agente es un elemento de gran importancia, ya que representa el mundo donde el agente vive. Por este motivo, es de vital importancia describir lo más preciso posible el ambiente donde el agente se va a desenvolver. Según Aguilar et al. (2013) esto se logra cumpliendo las siguientes propiedades del ambiente:

- i) **Accesibilidad:** Un ambiente es accesible cuando el agente puede obtener información completa, precisa y actual de este.

- ii) **Determinismo:** En este tipo de ambiente, no existen indicios de incertidumbre sobre los resultados que producirá una acción. Caso contrario, el ambiente será estocástico.
- iii) **Interdependencia de eventos:** Un ambiente es episódico cuando el agente toma decisiones en base al evento actual, es decir, no se preocupa por la relación entre el evento actual y los futuros. Caso contrario se convierte en un ambiente secuencial.
- iv) **Dinamismo:** En este tipo de ambiente se puede producir cambios, caso contrario el ambiente sería estático.
- v) **Continuidad:** En un ambiente discreto existe un número fijo de acciones y percepciones en el tiempo. Caso contrario se convierte en un ambiente continuo.

2.3.4. Clasificación de los agentes

Los agentes inteligentes pueden ser clasificados de diferentes maneras, las más importantes serán mencionadas en este apartado. Adicionalmente, la información presentada de cada clasificación fue tomada de diferentes autores, los cuales serán mencionados respectivamente.

2.3.4.1. Clasificación según sus propiedades

Según Aguilar et al. (2013) los agentes según sus propiedades se dividen en:

- i) **Movilidad:** Se clasifican en agentes móviles, los cuales tienen la capacidad de moverse de un nodo a otro en la red, y agentes estáticos, el cual se comporta de manera contraria a la mencionada. Cabe recalcar que un agente puede ser móvil durante un lapso de tiempo establecido y el resto del tiempo estático.
- ii) **Proactividad:** Se clasifican en agentes proactivos y agentes reactivos. Este comportamiento puede variar en el tiempo y dependiendo de las circunstancias que se presenten en el ambiente.
- iii) **Propiedades mínimas:** Tomando en consideración las propiedades de Autonomía, Aprendizaje y Cooperación, los agentes se pueden clasificar en agente inteligente, agente colaborativo, agente interfaz y agente colaborativo con aprendizaje.

2.3.4.2. Clasificación según la relación entre percepción y acciones

Según Mancilla (2008), los agentes según su relación entre percepción y acciones se clasifican en:

- i) **Agentes de reflejo simple:** Cuando el agente recibe una percepción, activa una regla de carácter simple y ejecuta la acción que corresponde a dicha regla; todo esto con respecto a la situación actual.
- ii) **Agentes bien informados:** Son aquellos que pueden comparar los estados del ambiente y cómo evolucionan con cada evento que se produce, además también pueden registrar la forma en que sus acciones afectan dicho ambiente.
- iii) **Agentes basados en metas:** Son aquellos que con la realización de una acción alcanzan una meta propuesta, sin embargo, estos agentes deben ser flexibles, ya que con la aparición de una nueva meta, el agente debe modificar su conducta. En la Figura 2.3, se presenta un modelo de un agente basado en metas y sus interacciones.

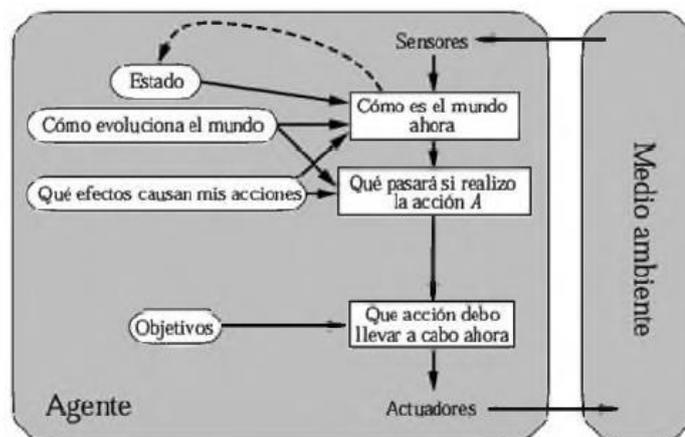


Figura 2.3. Diagrama de un agente basado en metas
Fuente: (Russell & Norving, 2008)

2.3.4.3. Clasificación según el tipo de aplicación

Según Mancilla (2008), los agentes según su relación entre percepción y acciones se clasifican en:

- i) **Agente de usuario:** Se considera como un asistente personal, el cual está basado en autonomía y aprendizaje. Tiene la capacidad de aprender

y almacenar conductas del usuario, lo cual le permite mejorar su rendimiento.

- ii) **Agente de búsqueda:** Estos agentes tienen la capacidad de poder almacenar e interpretar diversos patrones de búsqueda.
- iii) **Agentes de monitoreo:** Este tipo de agentes se encargan de revisar las variables del ambiente de manera parcial o total, para luego ejecutar acciones según el valor de dichas variables.
- iv) **Agentes de filtrado:** Son aquellos que trabajan según un perfil predefinido.

2.3.5. Arquitectura de agentes inteligentes

En los sistemas de agentes inteligentes y M.A.S, la arquitectura determina la manera en que estos se descomponen, así como también su esquema de comunicación entre ellos mismos y con el ambiente. Según Pavón (2006), existen varias arquitecturas de agentes, las más conocidas son las que se describirán a continuación:

- i) **Agentes reactivos:** Basan sus decisiones en el presente, sin considerar los eventos del pasado. Para lograr esto únicamente requieren de mecanismos de percepción y actuación. El modelo de este tipo de agentes, se muestra en la figura 2.4.

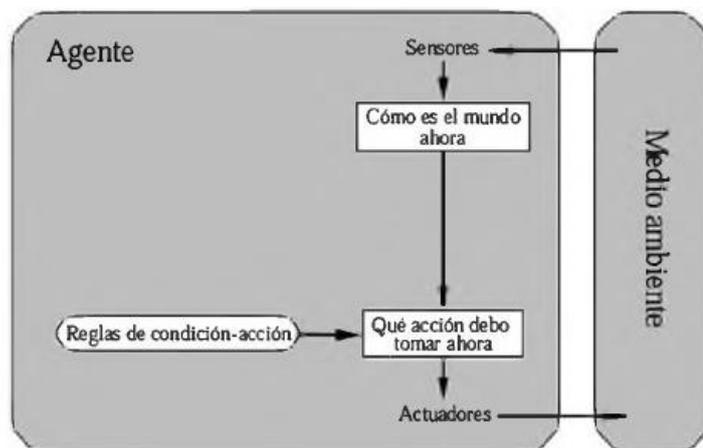


Figura 2.4. Diagrama de un agente reactivo simple
Fuente: (Russell & Norving, 2008)

- ii) **Agentes con estados:** Poseen una estructura interna que permite almacenar información de su estado actual y los estados pasados. Las

decisiones que el agente tome dependerá tanto de su percepción del ambiente como de sus estados pasados.

iii) Agentes con representación del entorno: Su estructura interna permite representar el ambiente de forma simbólica. Las acciones que realicen los agentes serán en base a procesos de razonamiento (inducción, abducción, deducción)

iv) Arquitectura por capas: Según Pavón (2006), en esta arquitectura el agente es descompuesto por capas (horizontal y vertical). La vista horizontal indica que las capas del agente se encuentran conectadas a los sistemas de acción y percepción del agente. La vista vertical indica que en ciertas situaciones se debe pasar por varias capas para determinar la acción que ejecutara el agente a partir de sus percepciones. En la figura 2.5, se muestra el modelo de una arquitectura por capas con vista horizontal, mientras que la vista vertical se puede apreciar en la figura 2.6.

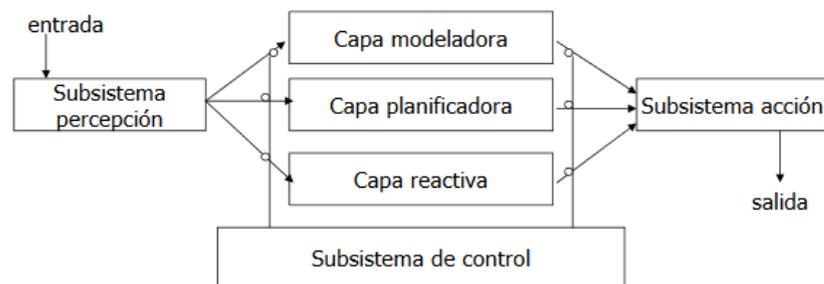


Figura 2.5. Arquitectura por capas con vista horizontal
Fuente: (Pavón, 2006)

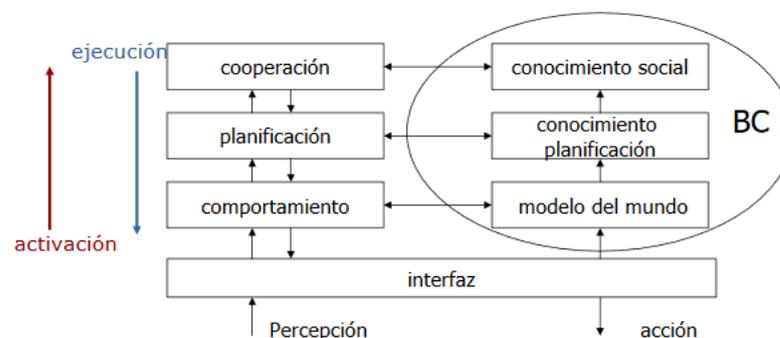


Figura 2.6. Arquitectura por capas con vista vertical
Fuente: (Pavón, 2006)

v) **Agente que aprende:** Este es un agente que tiene la capacidad de aprendizaje y flexibilidad con el ambiente. Para esto necesita mecanismos para evaluar el medio, extraer información, etc. En la figura 2.7, se muestra el modelo para un agente que tiene la capacidad de aprendizaje.

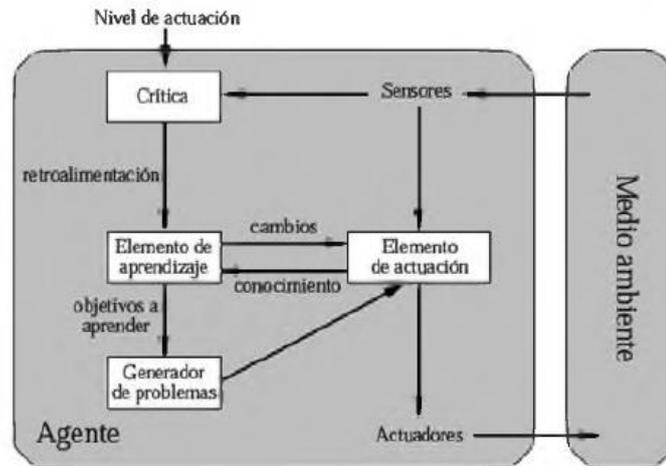


Figura 2.7. Diagrama de un agente con capacidad de aprendizaje
Fuente: (Russell & Norving, 2008)

vi) **Arquitectura deliberativa:** Según Pavón (2006), en esta arquitectura el comportamiento y conocimiento del agente se representa de forma explícita. El ejemplo más conocido e importante de la arquitectura deliberativa es el agente BDI, el cual es un agente racional que puede representar actitudes mentales: Creencias (Beliefs), Deseos (Desires), Intenciones (Intentions). Un modelo de la arquitectura deliberativa puede apreciarse en la figura 2.8.

- a. **Creencias:** Representa la información y el conocimiento que el agente tiene sobre sí mismo y sobre otros agentes. El conocimiento adquirido se almacena en una base de datos que se conoce con el nombre de “base de conocimientos”.
- b. **Deseos:** Representan los objetivos del agente, que pueden ser mostrados mediante estados a situaciones que el agente quisiera lograr o causar.
- c. **Intenciones:** Representan el estado deliberativo (lo que el agente elige hacer). En otras palabras, las intenciones son metas que el

agente se plantea para con ello poder cumplir sus deseos, dadas sus creencias.

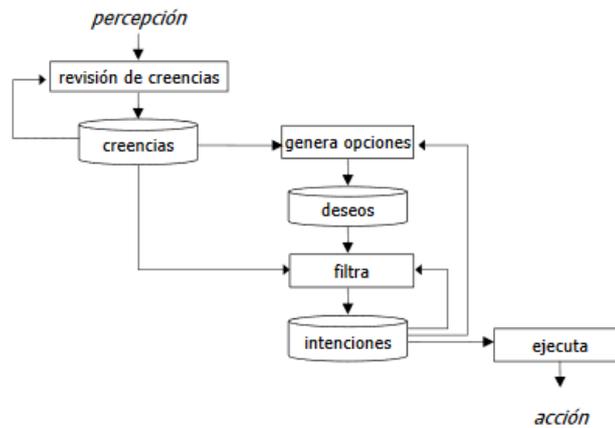


Figura 2.8. Diagrama de un agente BDI
Fuente: (Pavón, 2006)

2.3.6. Sistemas MultiAgente (MAS)

Un sistema multiagente (MAS) está conformado por una comunidad de agentes, los cuales interactúan entre sí mediante el uso de protocolos y lenguajes de comunicación de alto nivel, con la finalidad de poder resolver problemas que están más allá de sus capacidades individuales o su conocimiento. En la figura 2.9, se presenta un esquema sobre la manera en que un sistema multi-agente interactúa con el ambiente en que se encuentra.

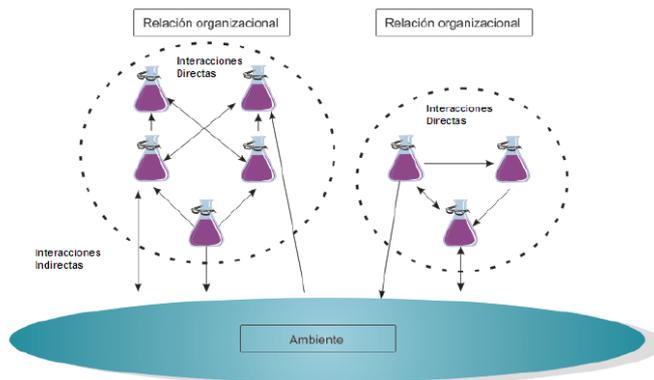


Figura 2.9. Estructura típica de un MAS
Fuente: Aguilar et al. (2013)

2.3.6.1. Comunicación entre Sistemas MultiAgente (MAS)

La comunicación es la base de las interacciones entre los agentes, esta tiene que ver con la intención de intercambiar información entre ellos. La

comunicación les permite a los agentes cooperar, coordinar acciones, realizar tareas en equipo. En cuanto al medio de transporte de la comunicación, según Vlassis (2008), se pueden distinguir tres clases de mecanismos para el transporte de mensajes:

- i) **Transporte directo:** Cuando un agente envía un mensaje, es tomado por el canal de comunicación y lo envía de manera directa a su destino, sin tomar en consideración la distancia existente y sin que otro agente pueda recibirlo.
- ii) **Transporte por propagación de la señal:** Un agente emite la señal que se propaga en el medio, pero su intensidad disminuye conforme aumenta la distancia entre emisor y receptor.
- iii) **Transporte vía cartel:** Cuando un agente quiere comunicarse, coloca un mensaje en un espacio común, el cual es visible por todos los agentes del medio (o un grupo selecto de ellos).

Los agentes no poseen la fuerza para hacer que otros agentes realicen la tarea que ellos quieran, como tampoco pueden escribir sobre el estado interno de otros agentes. Sin embargo, un agente puede tratar de influenciar a otro agente mediante actos de comunicación.

2.3.6.2. Fundación para agentes físicos inteligentes (FIPA)

Según IEEE (2018), FIPA es un organismo que se encarga del desarrollo y establecimiento de estándares de tipo software para los sistemas que están basados en agentes. FIPA contiene dos tipos diferentes de especificaciones:

- **Normativas:** Estas se encargan de definir el comportamiento externos de un agente y de esta manera garantizar la interoperabilidad con otros subsistemas especificados por FIPA.
- **Informativas:** Se encargan de proporcionar una orientación en el uso de las tecnologías FIPA.

FIPA principalmente busca garantizar lo siguiente:

- Definir una arquitectura genérica que soporte SMA
- Que el transporte de los mensajes entre agentes tenga interoperabilidad

- Las diversas maneras del lenguaje de contenidos de los agentes que se utiliza en sus comunicaciones (Agent Communication Language o ACL).

En la figura 2.10 se presentan todas las especificaciones propuestas por FIPA: comunicaciones entre agentes, transporte de mensajes, gestión de agentes, arquitectura de despliegue, aplicaciones comunes que se basan en agentes.

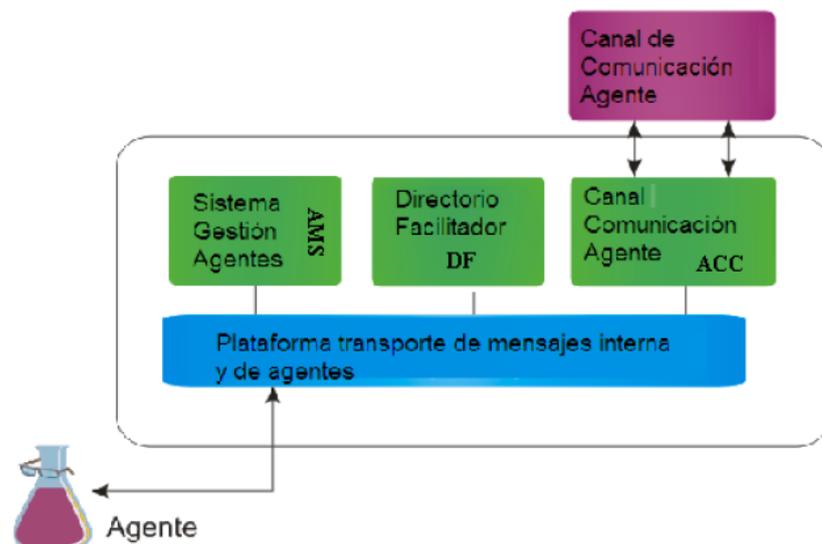


Figura 2.10. Modelo de referencia de agentes basado en FIPA
Fuente: Aguilar et al. (2013)

Según IEEE (2018), en una plataforma basada en agentes, existen tres funciones que son consideradas obligatorias y que deben ser cumplidas, estas son:

- **Sistema de gestión de agentes (AMS):** Agente que ejerce control y supervisión sobre el acceso a la plataforma y al uso de la misma. Este agente es responsable de mantener un directorio de los agentes residentes y sus ciclos de vida.
- **Canal de comunicación de agentes (ACC):** Se encarga de proporcionar la ruta de acceso para el contacto entre agentes dentro y fuera de la plataforma. Este canal es el modo de comunicación por

defecto, el cual o brinda un servicio ordenado y confiable de enrutamiento.

- **Directorio Facilitador (DF):** Agente que presta servicios de páginas amarillas a la plataforma de agentes.

FIPA se encarga de definir las normas de las conversaciones entre agentes mediante protocolos de interacción (patrones de comunicación entre dos o más agentes). Estos protocolos van desde los más simples (consulta y solicitud), hasta los más complejos (contratación, negociación). Algunos de estos son: FIPA Request Interaction Protocol Specification, FIPA Query Interaction Protocol Specification, FIPA Request When Interaction Protocol Specification, FIPA Contract Net Interaction Protocol Specification, FIPA Brokering Interaction Protocol Specification, FIPA Recruiting Interaction Protocol Specification, FIPA Subscribe Interaction Protocol Specification. Algunos de los sistemas computacionales que están basados en FIPA son:

- JADE
- JIAC
- JACK
- ZEUS
- FIPA-OS

2.4. Metodologías para el desarrollo de agentes inteligentes

Las metodologías brindan varios medios y recursos para poder construir sistemas de agentes inteligentes de una manera adecuada siguiendo una serie de pasos recomendados por los autores. Existen varias metodologías para la creación de agentes, sin embargo, en este apartado se describirán las metodologías más utilizadas y nombradas en la literatura.

2.4.1. Metodología GAIA

Según Wooldridge, Jennings y Kinny (2000), la metodología GAIA, es la una de las primeras metodologías propuestas como una guía para el proceso de desarrollo de M.A.S desde el análisis hasta el diseño. La herramienta de

soporte para el desarrollo de agentes con esta metodología es MASDK. Esta metodología se compone de dos fases:

- **La fase de análisis:** En esta fase se basa en la creación de un modelo de roles preliminares, un modelo preliminar de interacciones y un modelo organizativo de reglas.
- **La fase de diseño:** Esta fase define la estructura del sistema tomando en consideración las reglas organizativas, así como también completar los modelos preliminares planteados. En esta etapa se especifican los tipos de agentes y se define el modelo de servicio.

La metodología GAIA se ocupa tanto del nivel macro (sociedad) como del nivel micro (agentes) en su diseño. Está destinada a permitir un análisis sistemático que va desde una declaración de requisitos hasta un diseño lo suficientemente detallado como para poder implementarlo de manera directa.

Al aplicar GAIA, el análisis va desde una idea abstracta, hasta llegar a un concepto concreto. En la tabla 2.1 se muestra los conceptos concretos y abstractos utilizados en GAIA.

Tabla 2.1
Conceptos concretos y abstractos utilizados en GAIA

Conceptos Abstractos	Conceptos Concretos
Roles	Tipos de Agentes
Permisos	Servicios
Responsabilidades	Conocimiento
Protocolos	
Actividades	
Propiedades de vida	
Propiedades de seguridad	

Fuente. Recuperado de "The Gaia methodology for agent- oriented analysis and design", de Wooldridge, M., Jennings, N., Kinny, D. 2000. Autonomous Agents and Multi- Agents Systems, 3,288.

El modelo utilizado en GAIA, aparece resumido en la figura 2.11. En GAIA el objetivo del análisis es llegar a comprender el sistema (incluyendo su estructura), a través de una idea de organización. Organización se entiende

como un grupo de roles, que mantienen relaciones con otros. Dichos roles poseen cuatro aspectos: responsabilidades del agente, recursos que este pueda utilizar, tareas asociadas y finalmente las interacciones.

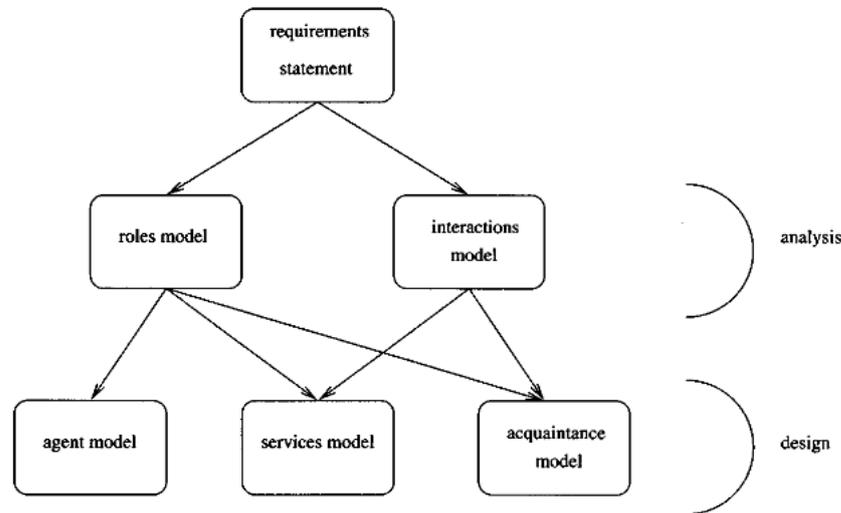


Figura 2.11. Modelo utilizado en la metodología GAIA
Fuente: (Wooldridge, Jennings & Kinny, 2000)

2.4.2. Metodología Prometheus

Según Padgham y Winikoff (2005), la metodología Prometheus está compuesta de tres fases de diseño:

- **Especificación del sistema:** Esta fase involucra dos actividades, determinar el ambiente del sistema y determinar los objetivos y funcionalidad del sistema. El ambiente del sistema se define en términos de percepciones y acciones. La definición de la funcionalidad del sistema es hecha mediante la identificación de objetivos, la identificación de las funcionalidades que permiten alcanzar esos objetivos y mediante la definición de escenarios. El uso de estos escenarios permite tener una idea de cómo opera el sistema en cuestión.
- **Diseño de la arquitectura:** Esta fase envuelve tres actividades, definición de los tipos de agente, diseño de la estructura general del sistema, definición de las interacciones entre agentes. Los tipos de agentes se derivan agrupando funcionalidades. Cada tipo de agente identificado se describe utilizando un “descriptor de agente”, el cual describe el ciclo de vida de este tipo de agente (como y cuando se inicializa y se destruye), sus funcionalidades, los datos que utiliza y

produce, sus objetivos, los eventos a los que debe responder, sus acciones y los otros tipos de agentes con los que interactúa. La estructura del sistema se captura en un diagrama de descripción general del sistema, dicho diagrama es el elemento de diseño más importante en la metodología Prometheus. Este proporciona a los diseñadores e implementadores una imagen general de cómo será el funcionamiento del sistema en su conjunto. Muestra los tipos de agentes, los enlaces de comunicación entre ellos y los datos. También muestra los límites del sistema y su entorno (acciones, percepciones y datos externos)

- **Diseño detallado:** En esta etapa, se aborda la parte interna de cada agente y la manera en que cumplirá sus tareas dentro del sistema. Esta fase se centra en la definición de capacidades, eventos internos, planes y estructura detallada de datos para cada tipo de agente identificado en el paso anterior. En primer lugar, las capacidades de un agente se representan a través de un descriptor de capacidad que contiene información como el tipo de eventos que se generan y que eventos son recibidos. En segundo lugar, con un nivel de detalle más bajo, existen otros tipos de descriptores: descriptores de planes individuales, descriptores de eventos y descriptores de datos. Estos descriptores proporcionan detalles para que puedan ser utilizados en la fase de implementación. La fase de diseño detallado también implica la construcción de diagramas de descripción general del agente.

En la figura 2.12, se muestra un diagrama con las fases de la metodología Prometheus. Cada una de estas fases incluye modelos que se enfocan en la dinámica del sistema, modelos que se enfocan en la estructura del sistema o sus componentes, y una forma de descriptor textual que provee los detalles de entidades individuales. La metodología Prometheus es soportada por dos herramientas de desarrollo: Prometheus Design Tool (PTD) y Jack Development Environment (JDE).

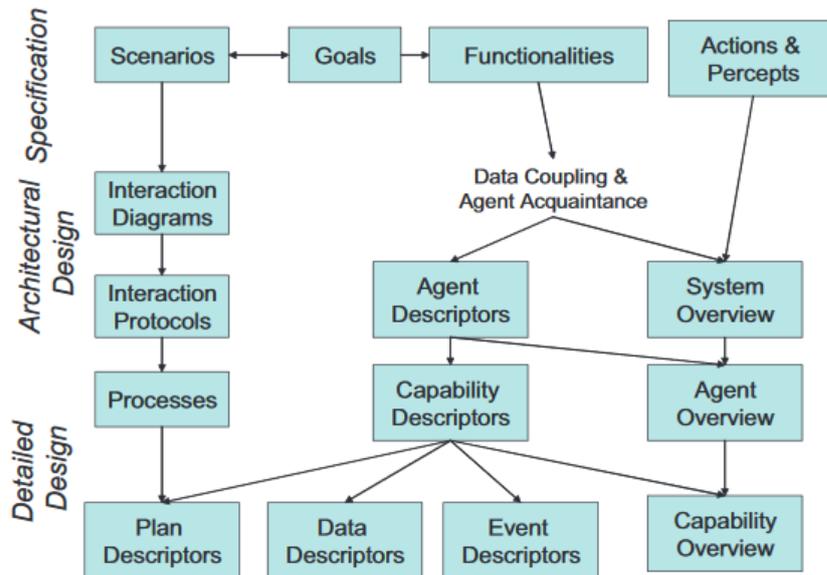


Figura 2.12. Fases de desarrollo de agentes utilizando la metodología Prometheus
Fuente: (Padgham & Winikoff, 2005)

2.4.3. Metodología Tropos

Según Khanh y Winikoff (2004), Tropos es una metodología de desarrollo de software orientada a agentes. Una de las más significantes diferencias entre Tropos y otras metodologías es su fuerte enfoque en el análisis de requisitos iniciales donde se identifican y analizan las partes interesadas del dominio y sus intenciones. Este proceso de análisis permite capturar la razón para el desarrollo del software. El proceso de desarrollo del software de Tropos consta de cinco fases: Requisitos Iniciales, Requisitos Tardíos, Diseño de la Arquitectura, Diseño detallado e Implementación.

- **Requisitos iniciales:** Tropos utiliza el concepto de actor y objetivos para modelar las partes interesadas en el dominio seleccionado y sus intenciones respectivamente. Tropos divide las metas en dos tipos diferentes. Los objetivos difíciles, eventualmente conducen a requerimientos funcionales, mientras que los objetivos directos se relacionan con requisitos no funcionales. Existen dos modelos que representan objetivos y actores en este punto de la metodología. Primero, el diagrama del actor representa a las partes interesadas y su relación en el dominio. Estas últimas se denominan dependencias sociales y reflejan la forma en que los actores dependen unos de otros

para alcanzar los objetivos, planificar su ejecución y proporcionar recursos. En segundo lugar, el diagrama de objetivos muestra el análisis de metas y planes con respecto a un actor específico que tiene la responsabilidad de lograrlos. Las metas y los planes se analizan en función de varias técnicas de razonamiento propuestas por la metodología, tales como análisis de fin de los medios, descomposición Y/O, análisis de contribución. Estas técnicas ayudan a los analistas a estructurar los objetivos del sistema, identificar objetivos, planes y recursos que brindan los medios para lograr un objetivo y capturar los objetivos que promueven o interfieren con el cumplimiento de otros objetivos

- **Requerimientos tardíos:** Esta fase implica extender los modelos que se crearon en el paso anterior. La importancia de esta etapa es el modelado del sistema objetivo dentro de su entorno. El futuro sistema se modela como uno o más actores. Sus interdependencias con otros actores en los modelos, contribuyen al logro de los objetivos interesados. Por lo tanto, estas dependencias definen los requisitos funcionales y no funcionales del sistema de destino.
- **Diseño arquitectónico:** La metodología Tropos define tres pasos que los diseñadores de sistemas pueden aplicar para pasar por esta fase. En el primer paso, se incluyen y describen nuevos actores por un diagrama de actor extendido. Estos nuevos actores se derivan basados en la elección de un estilo arquitectónico. Pueden existir para cumplir requisitos no funcionales o para apoyar sub-objetivos descompuestos en los pasos anteriores. El segundo y tercer paso respectivamente, identifican las capacidades y las agrupan para formar tipos de agente, donde cada tipo de agente se forma uniendo una cantidad de capacidades.
- **Diseño detallado:** La fase de diseño detallado de Tropos implica la definición de la especificación de agentes a nivel micro. Hay tres tipos diferentes de diagramas que los diseñadores deben producir para representar las capacidades, los planes de los agentes y las interacciones entre ellos. Tropos utiliza diagramas de actividad UML para

representar capacidades y planes en el nivel detallado. Los diagramas de planes son representaciones detalladas de cada nodo de plan en los diagramas de capacidad. La interacción entre agentes en el sistema está representada por diagramas de interacción del agente.

- **Implementación:** Habiendo terminado la etapa de diseño detallado, ahora podemos pasar a la etapa final de la metodología Tropos, la fase de implementación. Tropos elige una plataforma BDI, específicamente JACK Intelligent Agents para la implementación de agentes. JACK proporciona cinco construcciones de lenguaje principales: agentes, capacidades, relaciones de bases de datos, eventos y planes. En esta etapa, los desarrolladores necesitan asignar cada concepto en la fase de diseño a las cinco construcciones en JACK. Tropos proporciona varias pautas y heurísticas para mapear conceptos de Tropos a conceptos de BDI y conceptos BDI a construcciones JACK.

2.4.4. Metodología MaSE

Según DeLoach (2004), La metodología MaSE es una especialización de las metodologías de ingeniería de software más tradicionales. La operación general de MaSE sigue las fases y pasos que se muestran en la tabla 2.2, a continuación y usa los modelos asociados que se presentan en la tabla 2.3:

Tabla 2.2
Fases de desarrollo utilizado en la metodología MaSE

Fase de análisis	Fase de diseño
Captura de objetivos	Creación de las clases de agentes
Aplicación de casos de uso	Construcción de conversaciones
Funciones de Refinación	Ensamble de las clases de agentes
	Diseño del sistema

Fuente. Recuperado de "The MaSE Methodology". DeLoach, S. 2004. Methodologies and software engineering for agent systems. 108

Tabla 2.3
Modelos asociados en la metodología MaSE

Fase de análisis	Fase de diseño
Jerarquía de objetivos	Diagramas de clases de agentes
Uso de casos, diagramas de secuencia	Diagramas de conversación
Tareas concurrentes, modelo a seguir	Diagramas de arquitectura de agentes
	Diagramas de despliegue

Fuente. Recuperado de "The MaSE Methodology". DeLoach, S. 2004. Methodologies and software engineering for agent systems. 108

Las etapas de la fase de análisis y la fase de diseño pueden apreciarse en las tablas arriba propuestas. Tal como se presenta de manera secuencial, la metodología es en práctica, iterativa. La intención es que el diseñador tenga libertad para moverse entre etapas y fases, de manera tal que con cada paso sucesivo, se agregan detalles adicionales y eventualmente, se produce un diseño de sistema completo y consistente.

Una de las ventajas de MaSE es la capacidad de rastrear los cambios durante todo el proceso. Todos los objetos creados durante las fases de análisis y diseño se pueden rastrear hacia adelante o hacia atrás a través de los diferentes pasos hacia otros objetos relacionados. El software de soporte para esta metodología es AgentTools.

2.4.4.1 Fase de análisis para el desarrollo de agentes según MaSE

Según DeLoach (2004), la fase de análisis produce una serie de roles y tareas, las cuales describen como un sistema satisface sus objetivos generales. Los objetivos son una abstracción de los requisitos detallados y son logrados mediante roles. Típicamente un sistema tiene un objetivo general y una serie de sub-objetivos que deben ser alcanzados para llegar al objetivo del sistema. Los objetivos son usados en MaSE porque ellos capturan lo que el sistema está tratando de lograr. Cada rol es responsable de lograr o ayudar a alcanzar metas específicas del sistema o sub objetivos. El enfoque general en la fase de análisis de MaSE es sencillo: definir los

objetivos del sistema a partir de un conjunto de requisitos y luego definir los roles necesarios para cumplir esos objetivos. Para ayudar a definir roles para cumplir objetivos específicos, MaSE utiliza casos de uso y diagramas de secuencia.

Una vez que las tareas concurrentes de cada función han sido definidas, la fase de análisis ha sido completada. La fase de análisis de MaSE se resume de la siguiente manera:

- Identificar objetivos y estructurarlos en un Diagrama de jerarquía de objetivos
- Identificar los casos de uso y crear Diagramas de secuencia para ayudar a identificar roles y trayectorias de comunicación.
- Transformar los objetivos en una serie de roles:
 - i) Crear un modelo de rol para capturar roles y sus tareas
 - ii) Definir el comportamiento de roles usando modelos de tareas concurrentes para cada tarea. En la figura 2.13, se muestra un modelo de roles que es utilizado en la arquitectura MaSE.

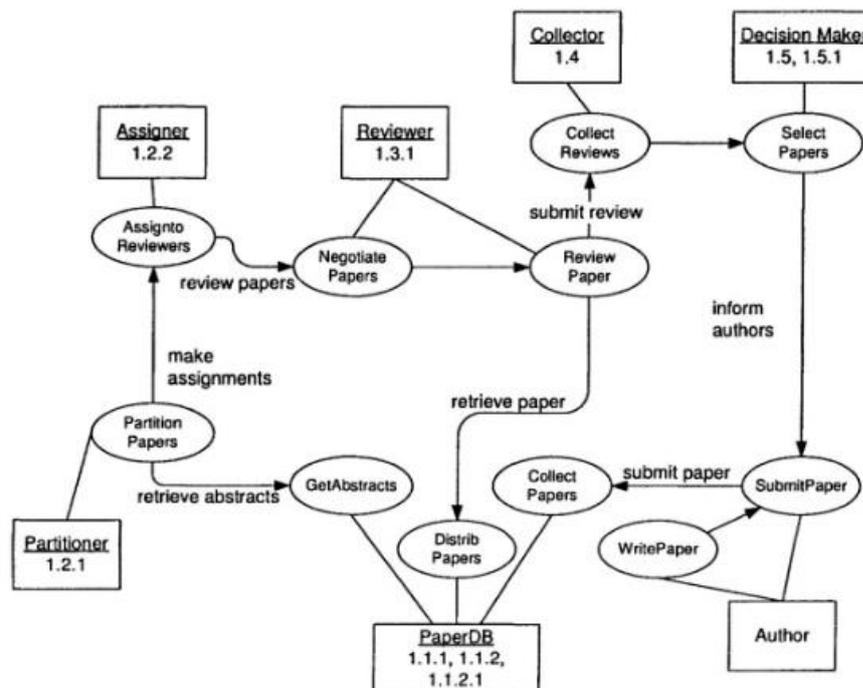


Figura 2.13. Modelo de roles de la metodología MaSE
Fuente: (Deloach, 2004)

2.4.4.2. Fase de diseño para el desarrollo de agentes según MaSE

Según DeLoach (2004), hay cuatro etapas en el diseño de un sistema con MaSE. El primer paso es la Creación de la clase de agente, en la cual el diseñador asigna roles a tipos de agentes específicos. En la segunda etapa (Construcción de Conversaciones), se definen las conversaciones entre agentes, mientras que en el tercer paso (Ensamblaje de las Clases de Agentes), la arquitectura interna y los procesos de razonamiento de las clases de agentes, son definidos. Finalmente en la última etapa, (Diseño del Sistema), el diseñador define el número y la localización de los agentes en el sistema desplegado.

Una vez que los Diagramas de despliegue son finalizados, la fase de diseño esta completada. La fase de diseño de la metodología MaSE se resume como sigue:

- Se asignan roles a las clases de agentes y se identifican conversaciones
- Se construyen conversaciones, se añaden mensajes y estados para que sea más robusto.
- Se define la arquitectura interna del agente
- Se define la estructura final del sistema utilizando Diagramas de despliegue.

2.4.5. Metodología MASINA

Según Hidrobo, Aguilar y Cerrada (2007), la metodología MASINA consta de las fases de conceptualización, análisis, diseño, codificación y pruebas, integración, operación y mantenimiento. En la fase de conceptualización, se definen los servicios que requiere el sistema, quienes requieren estos servicios, además se hace una identificación de los componentes del sistema que pueden ser considerados agentes; también se utilizan los diagramas de casos de uso de U.M.L.

En la fase de análisis se proponen cinco modelos, los cuales se consideran importantes para la descripción de las características de los M.A.S, estos

son: modelos de agente, tareas, comunicación, coordinación, inteligencia. En la figura 2.14 se muestran estos modelos y su función.

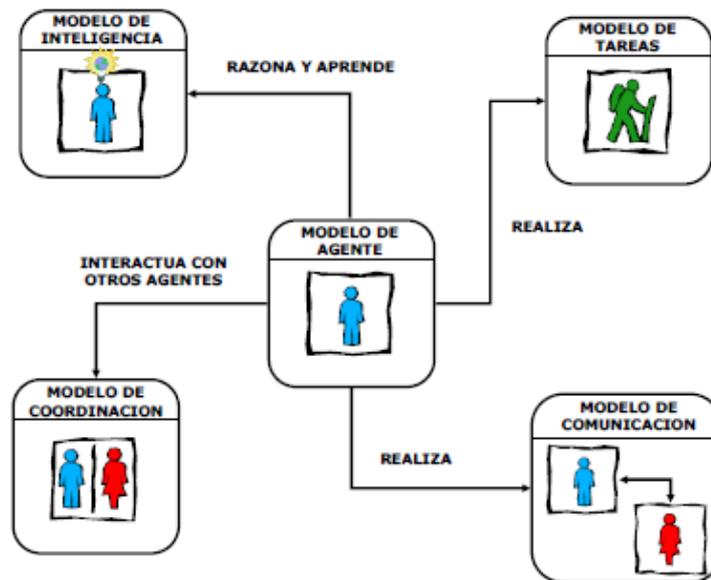


Figura 2.14. Modelos de MASINA para el análisis
Fuente: Aguilar et al. (2013)

- En modelo de agente, se determinan las características de un agente como habilidades, servicios, etc.
- En el modelo de tareas, se agregan atributos para especificar las tareas que necesiten el uso de técnicas y otro para poder describir las sub-tareas que deben ejecutarse para la realización de tarea principal.
- En el modelo de inteligencia, tal como se aprecia en el grafico anterior, se integran conceptos como experiencia, representación de conocimiento, mecanismos de aprendizaje, mecanismos de razonamiento.
- En el modelo de coordinación, se especifican las conversaciones que se dan entre los agentes. Este modelo se centra en definir las conversaciones que permiten que exista una comunicación coordinada entre agentes. Los actos de habla de una conversación se representan gráficamente a través de un diagrama de secuencia de U.M.L.
- El modelo de coordinación, muestra una descripción detallada de cada conversación. Se especifica los esquemas de coordinación, planificación, mecanismos de comunicación directa o indirecta, el metalenguaje y la ontología.

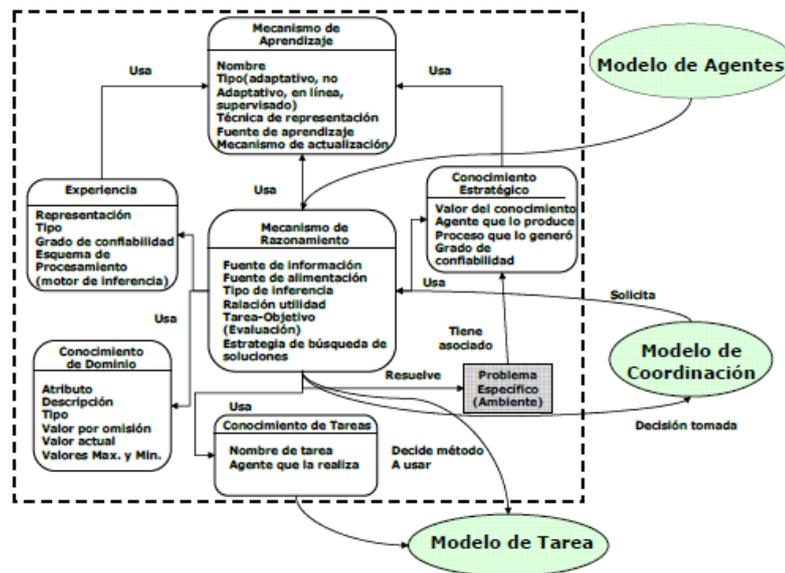


Figura 2.15 Modelo de inteligencia de MASINA
Fuente: Aguilar et al. (2013)

En la fase de diseño de MASINA, se obtienen modelos como un paso previo a la implementación del M.A.S, estos modelos son:

- **Diseño del M.A.S:** Se consideran los agentes resultantes de los modelos que se generaron en la fase de análisis, para poder generar la arquitectura final del M.A.S.
- **Diseño de red:** En esta parte se describen los aspectos relevantes de la plataforma del M.A.S, como conocimiento, arquitectura de red, entre otras.
- **Diseño de la plataforma:** Se determina la plataforma de desarrollo del M.A.S; se escogen tecnologías hardware y software para implementar la plataforma.

Según Hidrobo, Aguilar y Cerrada (2007), en la fase de coordinación y pruebas de la metodología MASINA, se codifican y realizan pruebas de cada agente, usando herramientas escogidas para tal finalidad. En este punto, se utilizan lenguajes de propósito general o lenguajes orientados a agentes. Cada uno de los agentes, son probados para poder asegurar que no existan fallas, en otras palabras, que el agente funcione según las especificaciones definidas en las fases de conceptualización y análisis. En la fase de integración, se realiza el proceso de acoplamiento entre agentes del M.A.S y

lingüísticas las cuales permiten aproximar una función mediante la relación de entradas y salidas del sistema.

Esta lógica muestra un rango de pertenencia en un intervalo de valores entre 0 y 1, a diferencia de la lógica tradicional, la cual posee únicamente dos valores: 0 o el 1.

2.5.1.1 Definición de variable lingüística

Tal como afirma Ponce (2010), es una variable que puede adoptar valores mediante palabras, las cuales le permiten realizar la descripción de un objeto o fenómeno; dichas palabras pueden ser representadas mediante conjuntos difusos. Todos los valores lingüísticos forman un conjunto de términos o etiquetas.

2.5.2 Etapas de la lógica para la obtención de resultados

La lógica difusa consiste de tres etapas para poder obtener los resultados que se esperan:

- i) Etapa 1:** Esta etapa se basa en un proceso en el cual las variables utilizadas poseen un grado de incertidumbre de tipo metalingüístico. De esta forma el rango de valores (llamado universo de discurso) que posee cada variable, puede ser clasificado en conjuntos difusos. En el caso de sensores, los valores de las variables que estos miden pasan por un proceso llamado fusificación, esto consiste en pasar esos valores a rangos de pertinencia entre 0 y 1.
- ii) Etapa 2:** En esta etapa se proponen reglas de inferencia (lingüísticas), las cuales servirán para que el sistema se comporte de la manera deseada según los objetivos del usuario. El grado de pertinencia de cada variable son evaluadas con reglas de inferencia, las cuales permiten determinar una consecuencia, en otras palabras, asignar un grado de pertinencia a un conjunto difuso, el cual caracterizara las salidas.
- iii) Etapa 3:** En esta etapa se realiza un proceso para poder determinar los valores de salida que sean óptimos, esto es conocido como defusificación, lo cual consiste en pasar el grado de pertinencia de la etapa dos, a un valor que sea nítido o real. En la Figura 2.17, se muestra un esquema de un controlador difuso.

Luego de realizar las etapas antes mencionadas, el control podrá entregar valores reales, los cuales son consecuencia de las reglas lingüísticas aplicadas previamente; gracias a esto el sistema podrá interpretar órdenes y realizar las acciones pertinentes.

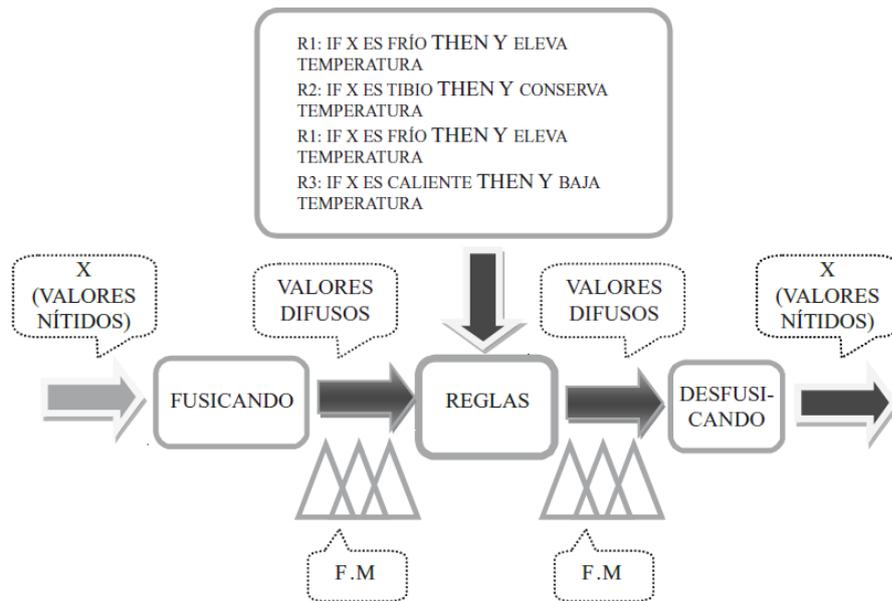


Figura 2.17. Diagrama de bloques con las tres etapas de la lógica difusa
Fuente: (Ponce, 2010)

Básicamente para realizar este control, se necesitan conocer las entradas del sistema, las cuales serán mapeadas a variables lingüísticas (difusificación). Con estas variables se forman las reglas que se encargaran de regir la acción de control, que se traduce en la salida del sistema.

2.5.3 Conjuntos difusos

En conjuntos difusos la variable que se maneja para la representación del conjunto de pertenencia es la μ , la cual puede tomar valores entre 0 y 1. Un conjunto difuso puede ser representado de dos maneras: Conjunto difuso discreto y Conjunto difuso continuo.

a. Conjunto difuso discreto:

$$\tilde{A} = \left\{ \frac{\mu_A(X_1)}{X_1} + \frac{\mu_A(X_2)}{X_2} + \dots \right\} = \left\{ \sum_i \frac{\mu_A(X_i)}{X_i} \right\}$$

En la representación anterior, el signo “+” indica unión de los elementos del conjunto. Esta forma de representación es utilizada en microcontroladores, computadores y demás sistemas digitales.

b. Conjunto difuso continuo:

$$\tilde{A} = \left\{ \int \frac{\mu_A(X)}{X} \right\}$$

En esta forma de representación, el símbolo de integración significa unión de los elementos del conjunto.

2.5.3.1 Representación de conjuntos difusos discretos

Los conjuntos difusos discretos se pueden representar de manera gráfica, como la unión de sus elementos. Por medio de la interpolación de cada uno de sus elementos, se construye una trayectoria, esta es la base de la función de pertenencia. En la figura 2.18 se presenta un ejemplo de un conjunto difuso.

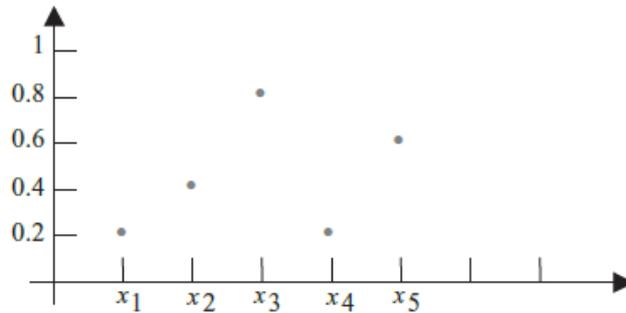


Figura 2.18. Gráfica de valores numéricos de un conjunto nítido
Fuente: (Ponce, 2010)

El conjunto difuso se lo puede definir a partir de la gráfica; el denominador indica el elemento del conjunto y el numerador indica el grado de pertenencia del elemento:

$$\tilde{A} = \left\{ \frac{0.2}{X_1} + \frac{0.4}{X_2} + \frac{0.8}{X_3} + \frac{0.2}{X_4} + \frac{0.6}{X_5} \right\}$$

2.5.4 Aplicaciones de la lógica difusa

Según Ponce (2010), la lógica difusa se aplica en varias áreas multidisciplinarias, estas van desde electrodomésticos hasta la creación de programas de computadoras que permiten la toma de decisiones. A continuación se nombran las principales aplicaciones que se le da a la lógica difusa:

- a. **Cámaras de video:** La lógica difusa es aplicada en electrodomésticos tanto a nivel hardware como software. En el caso de aplicaciones hardware, se encuentra el uso de sensores para conseguir un enfoque automático del lente que se encarga de captar un determinado objeto.
- b. **Reconocimiento:** En el área de seguridad, cuando se necesita métodos de identificación, o en el caso del control de la actividad de los volcanes, o en el reconocimiento de caracteres y sistemas de vigilancia de video, se ha optado por el uso de lógica difusa para la resolución de estas tareas.
- c. **Controladores:** La lógica difusa es utilizada en controladores para la calidad del agua, sistemas de operación de trenes automáticos, operación de contenedores, elevadores, reactores nucleares, transmisión de vehículos, computadoras, entre otras aplicaciones en esta área.
- d. **Transporte:** La aplicación más conocida en esta área es el control de trenes subterráneos, superando por mucho a los operadores humanos y a los controladores convencionales con programación rígida.
- e. **Sistemas de control:** En el caso de los sistemas de control, la lógica difusa es utilizada para satisfacer uno o más de los siguientes objetivos:
 1. Autonomía
 2. Adaptabilidad
 3. Mejor robustez
 4. Diseño simplificado
 5. Implementación simplificada
 6. No se necesita un modelo matemático de la planta

2.6. Sistemas contra-incendios

El fuego, al mismo tiempo que es considerado un elemento importante para diversas actividades, también se lo considera un peligro para el ser humano, sus bienes, así como para otras formas de vida.

Desde tiempos antiguos, el hombre siempre ha tenido la necesidad de disponer de herramientas para luchar contra incendios (accidentales o provocados), sin embargo, con el paso del tiempo, estas herramientas han tenido que ser modificadas y mejoradas, por lo que a partir del siglo XX aproximadamente, se empezó a instalar sistemas de tipo mecánico para la detección y extinción de incendios, dando origen a lo que actualmente se conoce como sistemas contra-incendios. Tal como afirma MSSI (2017), la lucha contra incendios se lleva a cabo de dos maneras diferentes:

- **Medidas de protección activa:** La protección activa se basa en aquellas acciones que permiten terminar de manera rápida cualquier presencia de incendio y así evitar que este se extienda por todo el lugar, como por ejemplo evacuaciones, uso de extintores, sistemas fijos, entre otras herramientas.
- **Medidas de protección pasiva:** La protección pasiva se basa en métodos que se ejecutan cuando se ha producido el incendio, aunque no actúan de manera directa sobre el fuego, estas medidas están encaminadas a impedir la extensión de las llamas y permitir una evacuación ordenada.

2.6.1. Medidas de protección activa

Los principales medios de protección pasiva se agrupan en las siguientes categorías: Detección, Alarma, Emergencia, Extinción, Señalización.

2.6.1.1. Instalaciones de Detección

La detección de un incendio se basa en descubrir la presencia de un incendio, así como localizarlo con precisión y dar aviso de manera fiable a las personas del entorno. La principal característica de la detección es la rapidez de actuación, ya que de forma contraria, el fuego se expandiría.

Según RNDS (2004), la detección puede hacerse de forma manual (humana) o automática.

- **Detección Manual:** Generalmente es ejecutada por una persona, razón por la cual, la rapidez de detección es lenta y muchas veces no es tan eficiente.
- **Detección Automática:** En este caso se hace uso de sistemas de detección ya sea de tipo mecánico, eléctrico, electrónico, los cuales actúan de manera más rápida y confiable que en la detección manual. Pueden ser vigiladas por un operador o pueden programarse para actuar de forma automática.

Tal como afirma RNDS (2004), las funciones de un sistema de detección son básicamente:

- Detectar la presencia de un conato de incendio
- Detectar humo visible y gases
- Detectar variaciones bruscas de temperatura
- Detectar llama

2.6.1.2. Instalaciones de alarma

Las alarmas son dispositivos que permiten avisar de manera inmediata la presencia de algún tipo de emergencia, mediante la emisión de señales acústicas. Entre las principales instalaciones de alarma, se tienen las siguientes:

- **Sistemas de pulsadores:** Transmiten una señal a un puesto de control vigilado, de manera que dicha señal pueda ser localizada y se tomen las medidas correspondientes. Los pulsadores deben encontrarse en lugares visibles y protegidos para evitar su activación involuntaria. Un ejemplo de estos se encuentra en la figura 2.19.
- **Instalación de alerta:** La señal de alerta es transmitida en todo el local, permitiendo que los ocupantes conozcan su existencia. Esta alerta generalmente se presenta de manera acústica.



Figura 2.19. Pulsador de emergencia
Fuente: (Biosys, 2018)



Figura 2.20 Sirena de alarma
Fuente: (Cablematic, 2018)

2.6.1.3. Instalaciones de emergencia

En el caso de las instalaciones de emergencia, estas están compuestas de los siguientes elementos:

- **Alumbrado:** Este se pone en marcha cuando falla el alumbrado principal; de esta manera se asegura la seguridad en la evacuación de las personas.
- **Señalización:** Indica la ubicación de las puertas, salidas de emergencia, así como el camino que se debe seguir para evacuar el lugar.

2.6.1.4. Instalaciones de extinción

- **Rociadores de agua:** Estos elementos se encargan de dispersar agua por toda la zona donde se haya producido un incendio. El agua que sale llega por medio de una red de tuberías instalada en el lugar donde estará el sistema contra incendios.

- **Hidrantes:** Es un fuente que suministra agua y que es de uso exclusivo de los vehículos de bomberos.
- **Columna seca:** Elemento comúnmente utilizado en edificios, el cual tiene la función de suministrar agua a los distintos pisos que tenga el edificio.
- **Extintores móviles:** Elementos que poseen un agente extintor el cual tiene la misión de apagar la llama en el lugar donde es aplicado.



Figura 2.21 Rociadores de agua
Fuente: (Eivar, 2018)

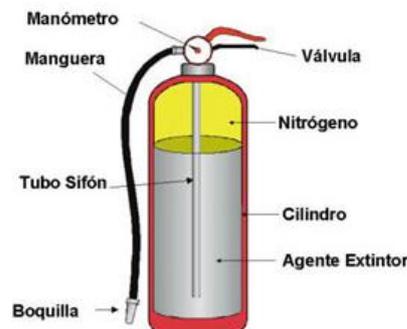


Figura 2.22. Composición de un extintor
Fuente: (Eivar, 2018)

2.6.1.5. Señalización

La señalización son un conjunto de símbolos los cuales tienen la función de indicar a las personas sobre alguna situación en particular: camino a seguir en una evacuación, actividades permitidas o prohibidas en un determinado lugar, entre otras. Estos símbolos son normalizados, lo que quiere decir que se aplica el mismo formato en diferentes países.



Figura 2.23. Señalización de emergencia
Fuente: (artser, 2018)

2.6.2. Medidas de protección pasiva

Las medidas de protección pasiva son todas aquellas construcciones de un lugar, las cuales sirven como barrera para impedir el avance de un incendio, manteniéndolo en un área específica, haciendo posible extinguirlo rápidamente y evitar consecuencias negativas. Estas medidas se clasifican en compartimentación horizontal y compartimentación vertical

2.6.2.1. Compartimentación horizontal

Su objetivo es impedir la propagación del incendio de manera horizontal a lo largo de un lugar. Las estructuras que conforman esta categoría, limitan la transmisión de calor, impide el derrame de líquidos inflamables como combustibles, etc.

- **Separador por distancia:** Esta medida reduce considerablemente la radiación de calor, así como la conducción del mismo, de un grupo de combustibles a otros. La principal desventaja de esta medida es que en muchos lugares no existen espacios abiertos disponibles para esto, razón por la cual se recomienda aplicarla cuando se está construyendo el lugar.
- **Paredes cortafuego:** Las paredes cortafuego son elementos construidos con materiales no inflamables (incombustibles) las cuales dividen al edificio en zonas aisladas. El grado de resistencia que una pared cortafuego debe tener contra el fuego debe tener relación con el riesgo que este debe resguardar
- **Diques:** Los diques también conocidos como cubetas se encargan de retener líquidos que son inflamables y que hayan sido derramados en algún sector, evitando su esparcimiento.

- **Puertas cortafuego:** Su construcción es similar al de las paredes cortafuego y su finalidad es dar protección a las aberturas en las cuales han sido colocadas paredes o muros cortafuegos.

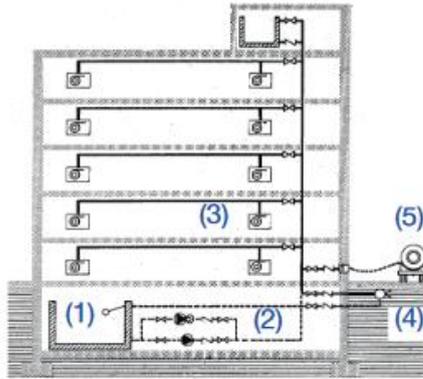


Figura 2.24. Disposición de elementos de compartimentación horizontal en un edificio
Fuente: (MSSI, 2017)

2.6.2.2. Compartimentación vertical

Evitar que el humo provocado por el incendio ingrese de manera rápida por cualquier conducto del lugar es el objetivo de las barreras verticales.

- **Cortafuegos en conducto:** Son trampas accionadas por fusible, las cuales caen sobre el conducto cuando son accionadas.
- **Techo forjado:** La misión del forjado es impedir que se debilite la resistencia del techo y de esa manera se desplome de la planta superior.
- **Huecos Verticales:** Los huecos de escaleras, ascensores y otras aberturas deben ser de material incombustible, garantizando resistencia al fuego.
- **Ventanas:** Las ventanas son un camino fácil de propagación entre las plantas del edificio, por lo cual en aquellos edificios o lugares considerados de alto riesgo de incendio, se debe limitar la presencia de ventanales. En caso de haber ventanas, estas deben de ser de metálicas y con vidrio armado.

CAPITULO III

ANÁLISIS DEL SISTEMA BASADO EN AGENTES INTELIGENTES

En este capítulo se procederá a realizar la caracterización del sistema contra incendios basado en agentes inteligentes, para lo cual se presentaran las consideraciones iniciales del sistema, el análisis de la estructura y el modelado del sistema utilizando diagramación U.M.L y lógica difusa. Cada una de las etapas ya mencionadas, serán descritas de forma clara y concreta, haciendo uso de diagramas y esquemas que permitan un mejor entendimiento por parte de los lectores.

3.1. Consideraciones iniciales del sistema.

El fuego, al igual que otros recursos como el aire o el agua, es muy importante tanto a nivel residencial como industrial, ya que brinda confort y ayuda al desarrollo de actividades de diversa índole tanto en el hogar como en procesos industriales, sin embargo, cuando este recurso esta fuera de control, se convierte rápidamente en un incendio y si este no se controla a tiempo puede terminar en una catástrofe. Los incendios son considerados una de las amenazas de mayor peligro para las personas que se encuentren en un determinado recinto (casa, edificio, institución pública o privada, etc.), ocasionando daños tanto materiales como pérdida de vidas humanas. La manera más óptima de lidiar con un incendio es detectarlo a tiempo y posteriormente ejecutar las acciones de evacuación de persona del lugar (en caso de haberlas) y la respectiva extinción del fuego. Debido a esto nace lo que se conoce como sistemas contra incendios.

Los sistemas contra incendios están compuestos de varios subsistemas, como por ejemplo los sistemas de detección de fuego, sistema de alarma, sistema de extinción, entre otros. Cada uno de ellos se encarga de ejecutar una tarea específica dentro del sistema macro, y trabaja de forma integrada y coordinada con la finalidad de salvaguardar la integridad de las personas y los bienes materiales.

La primera parte de este apartado se ha dividido en tres etapas: descripción del sistema, en el cual se hablara de manera general de la forma de

operación y funcionamiento del sistema. La segunda etapa, caracterización del sistema, se expondrán las características generales del sistema, de los sensores y actuadores que son utilizados en el proceso. Finalmente en la tercera etapa, funciones del sistema, se expondrán las principales funciones que cumple el sistema de detección de incendios basado en agentes.

3.1.1. Descripción del sistema.

El sistema contra incendios va a trabajar con agentes inteligentes, los cuales se encargarán de supervisar la seguridad de un laboratorio universitario. En la figura 3.1 se encuentra el plano de un laboratorio que ha sido diseñado para la implementación del sistema contra incendios. Cabe recalcar que este espacio, dimensiones y disposición son una representación para demostrar que el sistema contra incendios puede implementarse en cualquier entorno. Este lugar cuenta con dos ambientes, uno en el cual se desarrollan las actividades académicas en conjunto con los alumnos, y una pequeña área de conferencias, en caso que se deban hacer reuniones ya sea entre profesores o alumnos.



Figura 3.1. Plano tomado como ejemplo para la colocación del sistema contra incendios
Fuente: Elaboración propia

Para este sistema se ha desarrollado dos tipos diferentes de agentes: El agente de detección, el cual se encargará de determinar el inicio de un incendio y en que parte del laboratorio se ha producido. El agente de extinción, se encargará de activar los equipos que tienen la tarea de apagar el incendio en el lugar donde se haya generado. El agente de extinción

también cumplirá funciones de evacuación, es decir, también generara señales de alerta para advertir de la situación a las personas que se encuentren dentro del laboratorio, es decir, este agente también cumplirá tareas de alerta y evacuación.

En la figura 3.2, se presenta la arquitectura del sistema contra incendios basada en agentes inteligentes. El Agente de Detección está conformado por los sensores de humo, sensores de llama, sensores de temperatura y sensores termovelocimétricos los cuales estarán midiendo constantemente estas variables en el medio y verificar que no se produzca alguna lectura que de indicios de la presencia de algún incendio. El Agente de Alerta, Evacuación y Extinción se encargará del control de los actuadores que son necesarios para llevar a cabo las tareas que su nombre indican, estos son luces de emergencia, sirenas rociadores de agua, rociadores de Co2, sensores de presencia, extractores de humo. Este agente pondrá en funcionamiento estas herramientas en el momento en que el Agente de Detección le notifique que se ha producido un incendio en el laboratorio. De igual manera el Agente de Alerta y Extinción le notificara al Agente de Detección cuando haya puesto en funcionamiento los actuadores que tiene a su control.

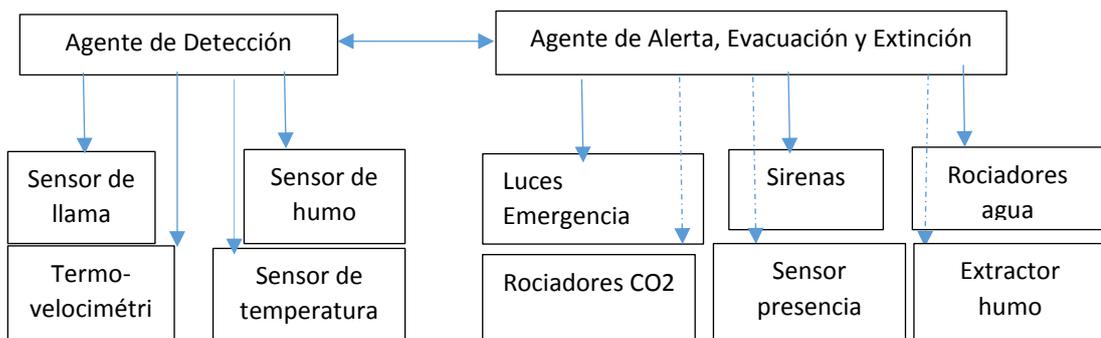


Figura 3.2. Arquitectura del M.A.S para el control de incendios
Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.3 se muestra el diagrama de flujo que explica el funcionamiento general del sistema contra incendios basado en agentes inteligentes. El Agente de Detección constantemente verificará el estado de los sensores del sistema, mientras no exista riesgo de incendio, se mantendrá en ese estado. En el momento en que detecta que se ha

producido un incendio dentro del laboratorio, se comunicara con el Agente de Alerta, Evacuación y Extinción para que este entre en operación. Este Agente se encargará de activar las alarmas, abrir cerraduras y activar el sistema de extinción para que el fuego sea controlado. Una vez hecho esto, este agente volverá a comunicarse con el Agente de Detección para preguntarle si el fuego ha sido extinguido, este volverá a revisar el estado de los sensores y devolverá una respuesta al agente de extinción. Si la respuesta es negativa, mantendrá el sistema encendido, hasta poder controlar la emergencia. Si la respuesta que ha recibido es positiva, es decir, la emergencia fue controlada, el Agente de Alarma, Evacuación y Extinción procederá a desactivar el sistema y volverá a comunicarse con el Agente de Detección, terminando así el ciclo, hasta que se vuelva a presentar otra emergencia, en ese caso el sistema volverá a funcionar de la misma manera.

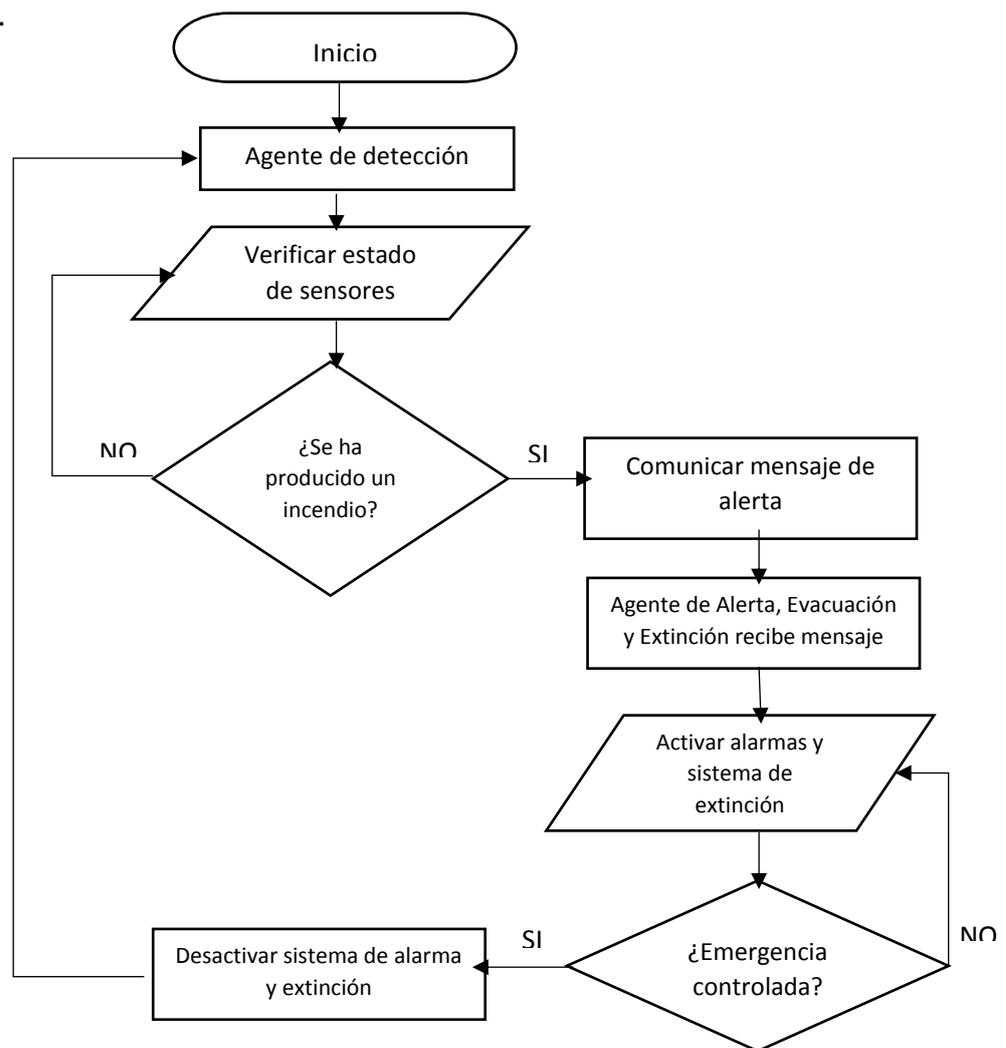


Figura 3.3. Diagrama de flujo del funcionamiento general del sistema
Fuente: Elaboración propia

3.1.2 Caracterización del sistema

Es de gran importancia caracterizar el sistema que se está desarrollando desde estas instancias, ya que de esta manera se dispone de un sistema con características definidas que permita realizar el modelado. En este apartado se presentarán las características generales que definen el sistema contra incendios basado en agentes inteligentes, las cuales se muestran a continuación.

- El sistema será diseñado utilizando microcontroladores de 32 bits para el alojamiento de los agentes inteligentes. En este caso el microcontrolador elegido es el STM32F10RC, cuyo núcleo ARM Cortex-M3 trabaja a una frecuencia de 36Mhz, posee una memoria flash, una memoria SRAM, permite operar a temperaturas entre -40 y +85 C y trabaja hasta 3,6V de tensión máxima.
- Sensores inteligentes de temperatura, llama, humo, termovelocimétrico los cuales envían información de la variable que está controlando al agente de detección para que este pueda ejecutar acciones en base a la información recibida.
- Actuadores inteligentes, como rociadores de agua y Co2, luces de emergencia, sirenas, extractores de humo, los cuales estarán bajo el control del agente de alarma y extinción, el cual se encargará de activarlos cuando sea necesario.
- Posee escalabilidad, lo que significa que su arquitectura puede ser modificada para poder añadir más funciones y características, todo esto mediante la implementación de mayor cantidad de agentes.
- En general es un sistema de bajo coste, puesto que la mayoría de los sensores, actuadores, así como el microcontrolador se pueden conseguir con facilidad en el mercado y a precios razonables.
- Opera de manera automática, lo cual le permite prescindir de operadores humanos en tareas directas inclusive en tareas de supervisión.

3.1.3 Funciones del sistema

Una vez que se han definido las características del sistema contra incendios, es necesario determinar las funciones que deberá cumplir. En este apartado se presentan las funciones generales que el sistema ejecutara una vez que se encuentre operativo, las cuales tendrán que ser cumplidas de forma correcta, para que de esta manera se considere que el sistema opera de la forma deseada. Las funciones que se ha estimado debe cumplir el sistema son:

- Detección de la presencia de incendios, de forma confiable y eficaz.
- Alertar de la existencia de un incendio y comunicarlo a las personas que estén en el lugar, en el menor tiempo posible.
- Función de evacuación, a través de la apertura de puertas de emergencia y de la puerta principal, para que las personas que se encuentren dentro del local, puedan evacuar rápidamente.
- Extinguir el incendio mediante la puesta en marcha del sistema de extinción.
- Supervisar el normal funcionamiento del sistema, sus dispositivos, el funcionamiento de los agentes y su entorno, que permita determinar el normal funcionamiento de todos los subsistemas que lo conforman.

3.2. Análisis del sistema contra-incendios.

En este apartado se realizará un análisis del espacio físico (laboratorio universitario) en el cual se dispondrá el sistema contra-incendios; se describirán las características particulares, se determinará la cantidad de subsistemas que estarán presentes en el entorno y finalmente se hablara sobre los requerimientos físicos de dichos subsistemas en especial de los sensores y actuadores a utilizar.

3.2.1. Análisis del espacio físico.-



Figura 3.4. Plano del laboratorio para la explicación de sus componentes
Fuente: Elaboración propia

Para el análisis del espacio físico se retomará el plano del laboratorio que se mostró en el apartado anterior y que vuelve a mostrarse en la figura 3.4 pero esta vez en dos dimensiones y visto desde arriba. Básicamente el laboratorio que se ha tomado como referencia para la colocación del sistema contra-incendios está dividido en dos áreas: El área más grande corresponde al lugar de trabajo donde se encuentran los alumnos y el o los respectivos docentes. Este espacio cuenta con dos pizarras, un total de seis escritorios independientes con su respectivo equipo de cómputo, pero tiene posibilidad de agregar más escritorios. La pared del fondo, así como también las paredes laterales, contienen un mesón el cual bordea toda la pared y es utilizado por los alumnos ya sea para realizar apuntes o para realizar prácticas con implementos de su asignatura (en este caso se tomará como referencia implementos eléctricos y electrónicos). Algunos de estos implementos son almacenados en armarios, los cuales se encuentran en la parte posterior, junto a los mesones. Las paredes antes mencionadas, contienen un grupo de ventanas con vista al exterior del laboratorio. Finalmente se tiene el respectivo escritorio para el docente y cerca de este

se encuentra la puerta principal para el ingreso o la salida de las personas del lugar.

El área número dos contiene un grupo de asientos y una mesa grande, este espacio es utilizado para establecer reuniones de trabajo entre alumnos, docentes o ambos a la vez, pero también contiene armarios para almacenar dispositivos un poco más costosos y que requieren mayor cuidado. Este lugar cuenta con una ventana con vista al exterior y dos ventanas con vista al interior del área número uno y su respectiva puerta para poder entrar a este lugar. En ambas sectores se encuentran tachos para el depósito de basura, copiadoras y demás suministros.

Una vez que se ha analizado el espacio físico y todos los elementos que se encuentran en el interior, el siguiente paso es analizar las posibles zonas de peligro del laboratorio y en las cuales es recomendable colocar los diferentes sensores y actuadores del sistema, con lo cual se ha diseñado el esquema que se muestra en la figura 3.5 y cuya simbología se encuentra en la figura 3.6.

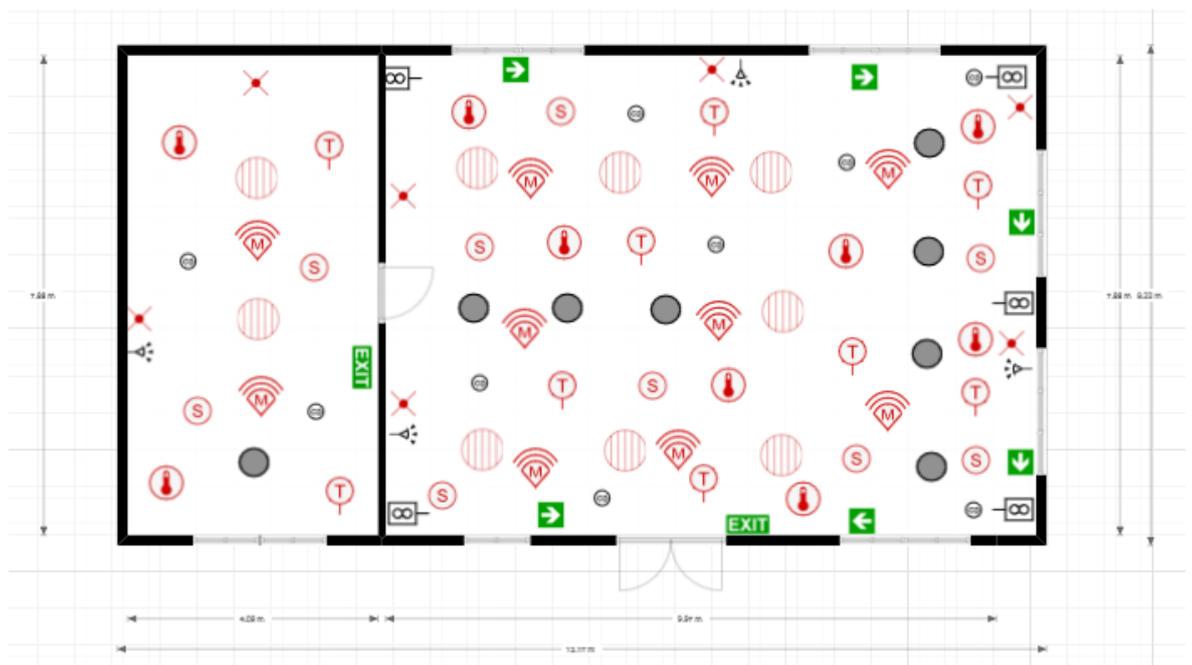


Figura 3.5. Plano con la ubicación de sensores y actuadores del sistema
Fuente: Elaboración propia

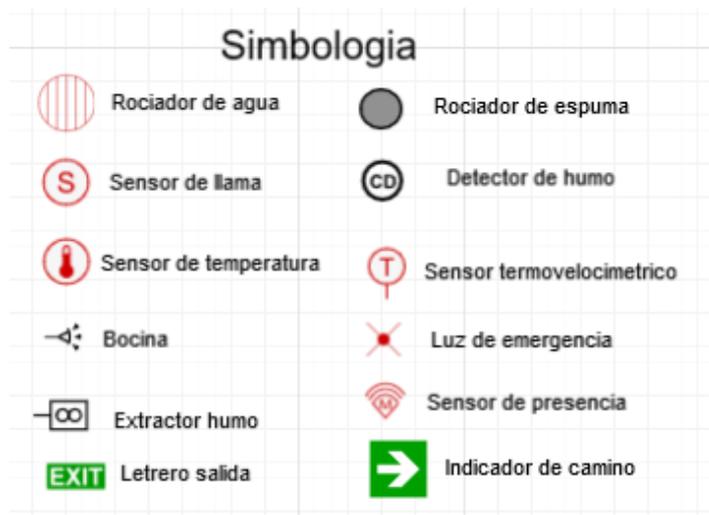


Figura 3.6. Simbología de elementos del plano del laboratorio
Fuente: Elaboración propia

3.2.1.1. Descripción de la ubicación y cobertura de sensores y actuadores del sistema contra incendios

En el área principal se han colocado seis rociadores de agua separados entre sí una distancia de 3.7 metros y cinco rociadores de Co2 con una separación de igual medida que los anteriores, esto basado en las especificaciones de la norma NFPA (Asociación Nacional de Protección del Fuego). Los rociadores de Co2 tienen una cobertura de aproximadamente 3 metros, mientras que los de agua cubren un área de 9 metros cuadrados; en el área secundaria se han colocado cuatro rociadores de agua y uno de Co2 con separación igual que en el caso anterior. La ubicación y el área aproximada de cobertura de cada rociador se muestran en la figura 3.8. La ubicación de los rociadores de Co2 se debe a que en esas áreas específicas se encuentran dispositivos delicados y máquinas de trabajo, los cuales pueden dañarse si entran en contacto con el agua.

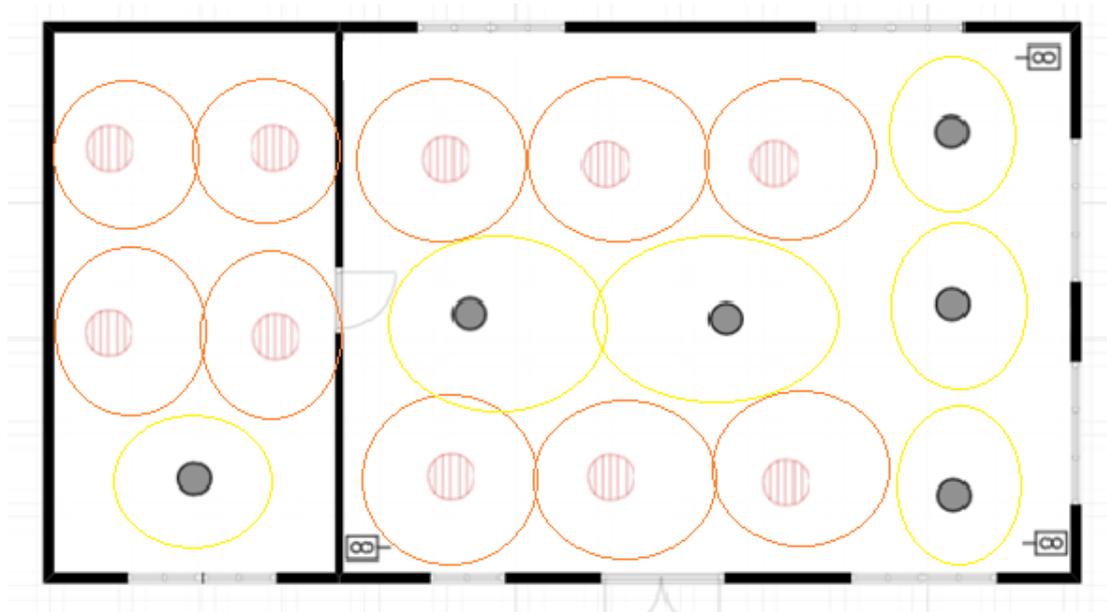


Figura 3.7. Cobertura individual de los rociadores de agua y CO2
Fuente: Elaboración propia

La ubicación de los detectores de humo se muestra en la figura 32, estos según la norma NFPA están separados entre sí una distancia de 6.1 y su radio de cobertura es de aproximadamente 9 metros cuadrados, en base a esto se han colocado 2 detectores en el área secundaria y 5 en el área principal con la finalidad de aumentar el rango de detección.

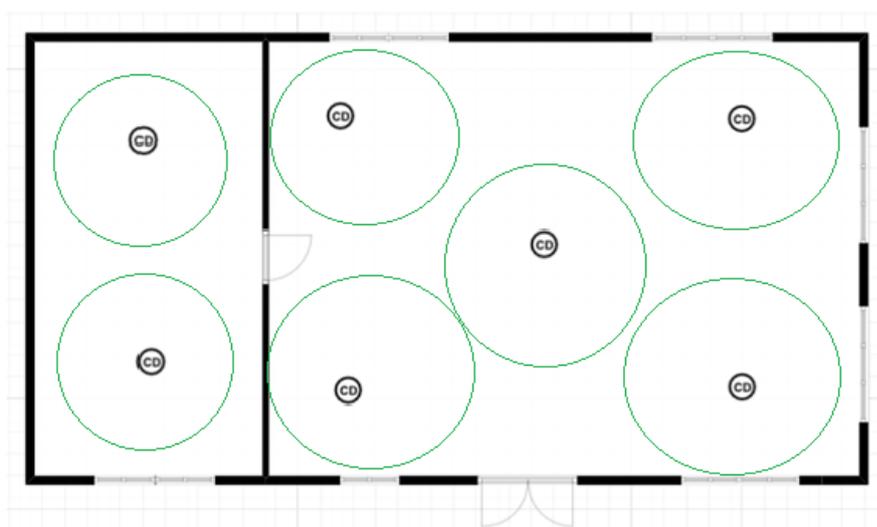


Figura 3.8. Cobertura de los detectores de humo
Fuente: Elaboración propia

En el área principal se colocaron 4 luces de emergencia una en cada pared y junto a ella la respectiva sirena de alerta. En el área secundaria se colocaron

dos de cada dispositivo de alerta. De igual manera los letreros de salida y salida de emergencia se han colocado tal como se aprecia en la figura 3.9 estos letreros se iluminan en el momento del siniestro, para facilitar la evacuación de las personas que se encuentren en el lugar, tarea que es controlada por los sensores de movimiento colocados tal como se aprecia en la misma figura 3.9 cada uno de ellos tiene una cobertura de 7 metros y un rango de visión de 360 grados.

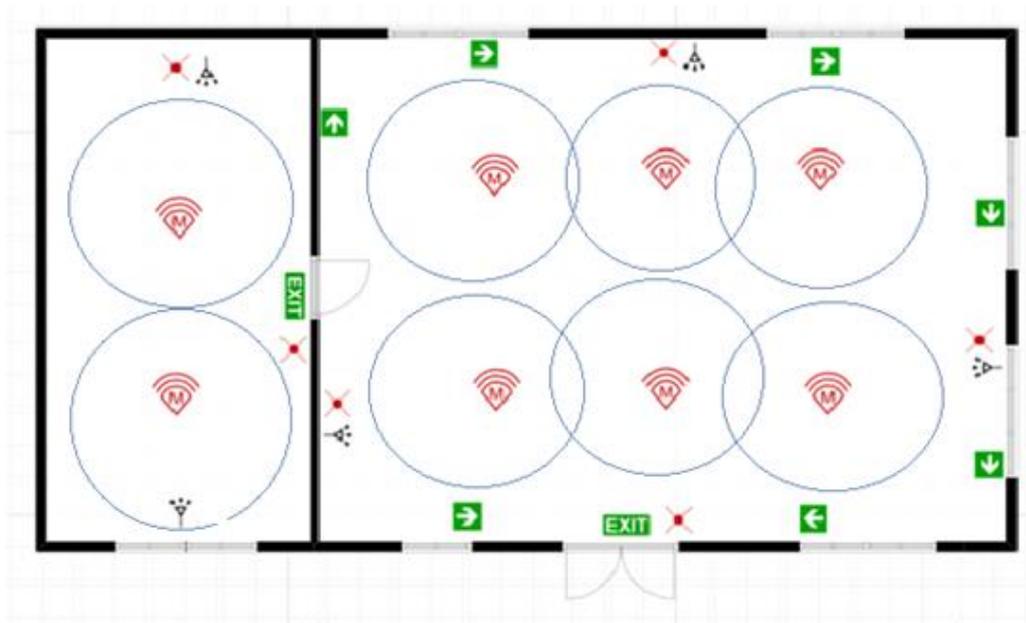


Figura 3.9. Cobertura de los sensores de presencia y actuadores luminosos y sonoros
Fuente: Elaboración propia

En lo referente a sensores, tanto de temperatura como de llama, estos han sido colocados en gran cantidad tal como se aprecia en la figura 3.10 ya que su rango de alcance es de aproximadamente 1 metro y por ende se requiere tener una mayor cobertura en todo el recinto. Existe una mayor concentración de sensores en el área central y en la zona de las mesas de trabajo ya que en esas áreas se puede producir un mayor riesgo de incendio y requiere de mayor monitorización.

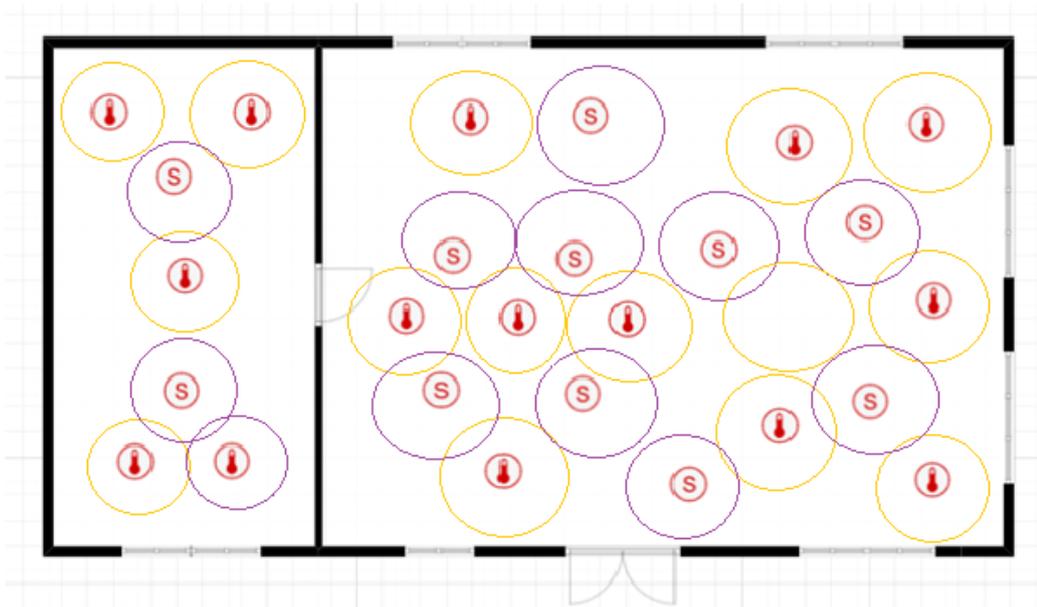


Figura 3.10. Cobertura de los diferentes sensores para el control del entorno
Fuente: Elaboración propia

Finalmente los sensores termovelocimétricos según la norma NFPA están separados entre sí una distancia de 6,5 metros aproximadamente y por lo general tienen una cobertura máxima de 20 metros cuadrados, razón por la cual se los ha colocado tal como se muestra en la figura 3.11.

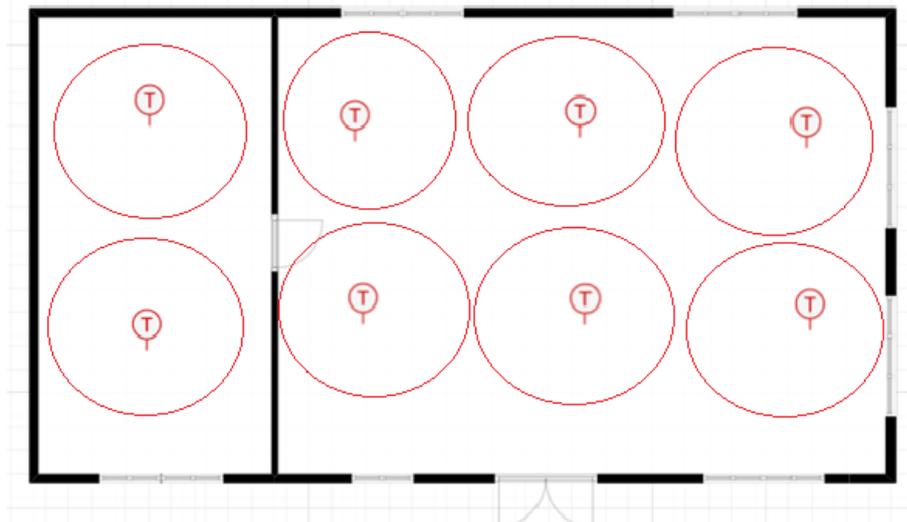


Figura 3.11. Cobertura de los sensores termovelocimétricos
Fuente: Elaboración propia

Es importante mencionar que la cantidad de sensores y actuadores así como su ubicación corresponde a una aproximación en base a las normas establecidas y a su rango de cobertura, es posible que al momento de

realizar un montaje real del sistema, se necesite mayor o menor cantidad de estos dispositivos y su ubicación pueda variar, en base a las pruebas que se realicen en ese momento.

3.2.2. Subdivisión del sistema contra incendios.-

Con el fin de abordar con mayor detalle el análisis del sistema contra incendios que se plantea, se lo ha subdividido en dos subsistemas básicos, los cuales corresponden a los tipos de agentes que serán utilizados para el correcto funcionamiento del sistema antes mencionado; estos son los siguientes:

- **Subsistema de detección de incendios:** medición y monitoreo de variables del medio, las cuales dan indicios de la presencia de fuego y de un posible incendio, temperatura, humo, llama. En la figura 3.12 se presenta el diagrama de flujo del subsistema de detección; es importante destacar que se realiza una segunda comprobación de los sensores para evitar la existencia de falsas alarmas y que se active el sistema sin ser necesario.

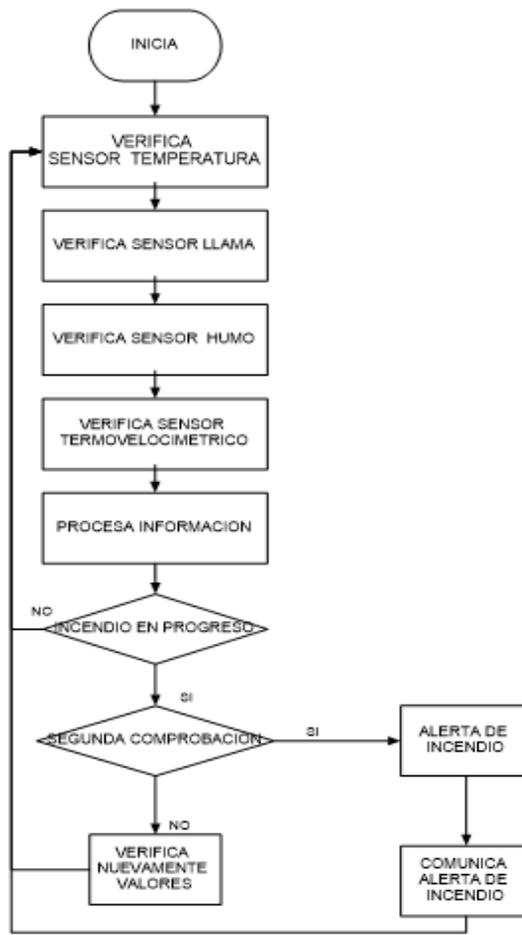


Figura 3.12. Diagrama de flujo del subsistema de detección
Fuente: Elaboración propia

- Subsistema de alarma, evacuación y extinción:** indicación de la presencia de incendios a las personas que se encuentren en el entorno, ejecutar tareas de evacuación y extinción del fuego. En la figura 3.13 se presenta el diagrama de flujo de este subsistema. El sensor de presencia ayuda a determinar si se deben ejecutar o no las correspondientes acciones de evacuación.

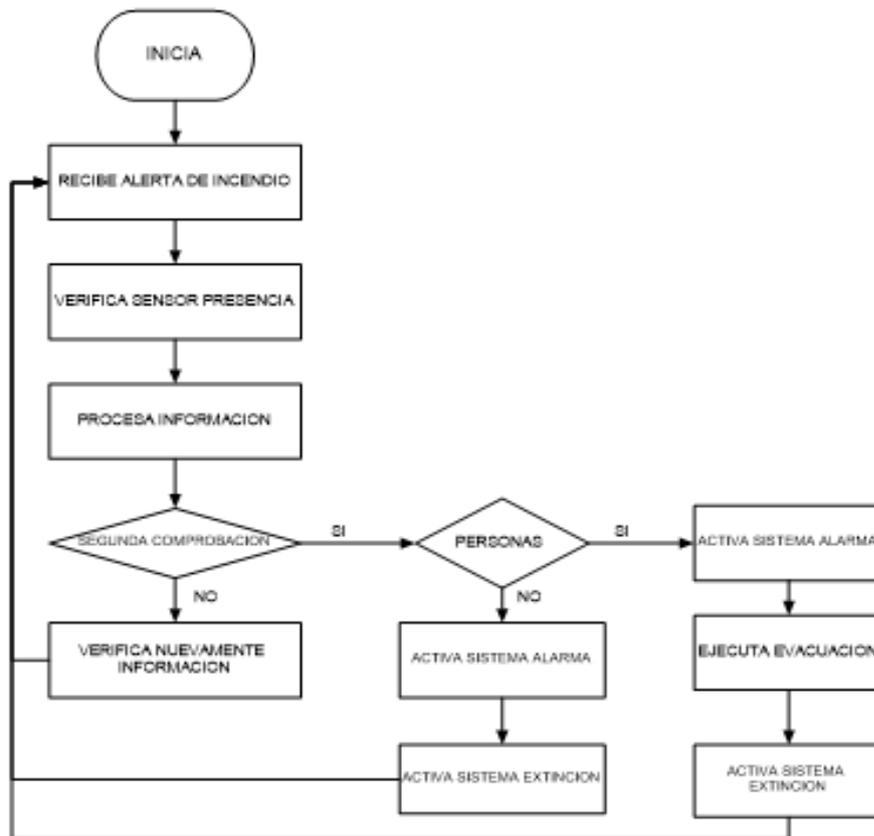


Figura 3.13. Diagrama de flujo del subsistema de alerta, evacuación y extinción
Fuente: Elaboración propia

Cada uno de los subsistemas que se han mostrado anteriormente, están conformados por un grupo específico de sensores y actuadores los cuales les permitirán llevar a cabo sus funciones de forma correcta y eficiente. Los elementos que conforman cada subsistema se muestran en las tablas 3.1 y 3.2.

Tabla 3.1

Dispositivos del subsistema de detección y sus respectivas funciones.

Subsistema	Dispositivo	Funciones
Detección	Sensor Temperatura	Monitorear la temperatura y los cambios bruscos producidos.
	Sensor de Humo	Detectar la presencia de humo en el entorno.
	Sensor de Llama	Detectar la presencia de llama en el entorno.
	Sensor Termovelocimétrico	Detectar el rápido incremento de la temperatura

Fuente. Elaboración propia

Tabla 3.2

Sensores y actuadores del subsistema de alerta, evacuación, extinción y sus respectivas funciones.

Subsistema	Dispositivo	Funciones
Alerta, evacuación y extinción	Rociador de agua	Extinguir el fuego mediante la expulsión de agua al exterior.
	Rociador de espuma	Extinguir el fuego mediante la expulsión de espuma al exterior.
	Sirenas	Emitir sonidos para indicar una emergencia.
	Luces de emergencia	Indicador visual que se activa en caso de emergencia.
	Sensor de presencia	Detectar la presencia de personas para ejecutar acciones de evacuación
	Extractor de humo	Extraer el humo cuando este se acumule en gran cantidad en el laboratorio.

Fuente. Elaboración propia

3.2.3. Requerimientos físicos de los subsistemas

Una vez que se han definido los subsistemas y los elementos que los conforman, es necesario indicar los requerimientos físicos de cada uno de ellos. Por tal motivo, en este apartado se describirán las características generales de los sensores y actuadores que conforman los subsistemas antes mencionados.

3.2.3.1. Requerimientos del subsistema de detección

i) Sensor de Temperatura DS18B20

El DS18B20 es un termómetro digital que provee medidas de temperatura en grados Celsius entre 9 bit y 12 bit, además de tener una función de alarma que puede ser programada por el usuario. Este dispositivo utiliza la comunicación 1-Wire, lo que significa que solo requiere una línea de datos (y la línea de tierra) para comunicarse con un microcontrolador. El sensor trabaja a un rango de temperaturas entre -55°C hasta 125°C . Su precisión es de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$. Su voltaje de operación va desde -0.5V hasta 6V . Cada DS18B20 tiene un código serial único de 64-bit, lo cual permite que múltiples de estos dispositivos funcionen en la misma línea de bus de datos. Su esquema de conexión se muestra en la figura 3.14.

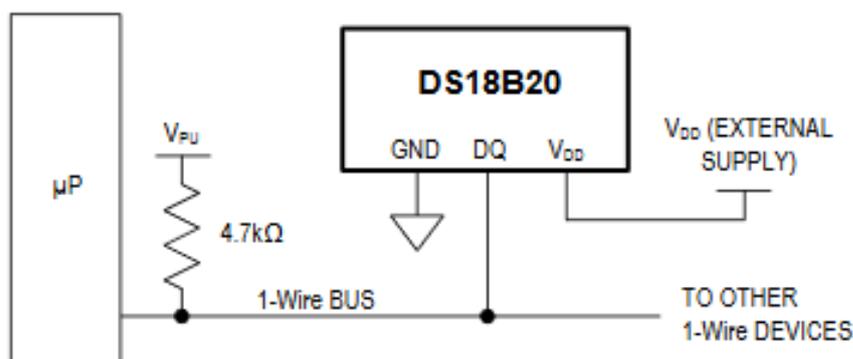


Figura 3.14. Esquema de conexión del sensor DS18B20
Fuente: Maxim Integrated (2015)

ii) Detector de humo ECO1000

El detector de humo ECO1000 es un modelo que trabaja a tensiones desde los 8 voltios hasta 30 voltios en corriente continua, tiene la capacidad de operar en rangos de temperatura entre -20°C y 60°C ; su consumo de

corriente en modo de espera es de 240uA y su corriente máxima es de 50mA. Es ideal para utilizarlo en zonas residenciales e institucionales como hoteles, centros educativos, hospitales, oficinas, entre otros, con una extensión de máximo 60 metros cuadrados en el área de instalación. En la figura 3.15 se observa el esquema de conexión del detector de humo.

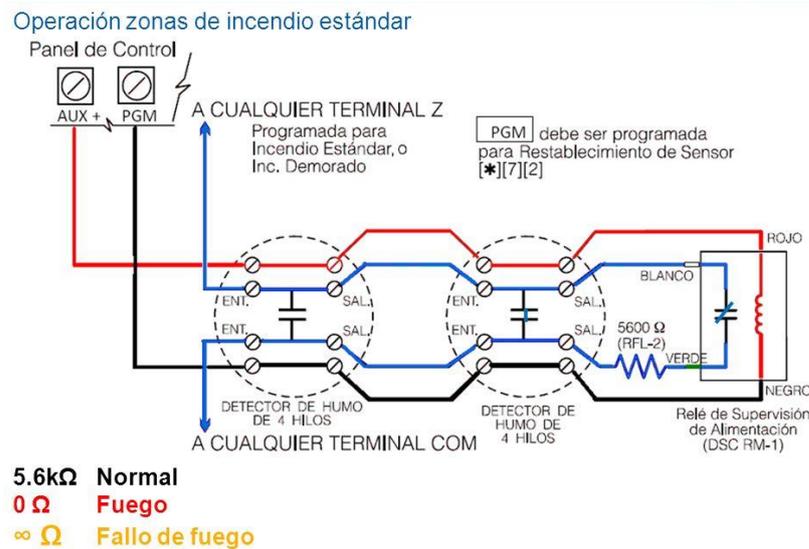


Figura 3.15. Esquema de conexión de detector de humo
Fuente: YoReparo (2017)

iii) Sensor de Llama DFR0076

El sensor de llama DFR0076 es un detector de tipo óptico, el cual detecta la presencia de combustión gracias a la luz emitida por esta entre los 760 nm hasta los 1100 nm de luz. El ángulo de la sonda del sensor es de 60°, su temperatura de operación está en el rango entre -25°C y 85°C, con esto se recomienda que la distancia de la sonda del sensor no debe ubicarse muy cerca de la fuente generadora con la finalidad de evitar daños en el dispositivo. Trabaja con una interfaz de tipo analógica, a un voltaje máximo de 5 voltios en corriente continua. Su rango de detección va desde los 20 centímetros (a una tensión de 4.8 voltios), hasta una distancia máxima de 1 metro (a una tensión de 1 voltio). La conexión de este sensor a un microcontrolador se muestra en la figura 3.16.

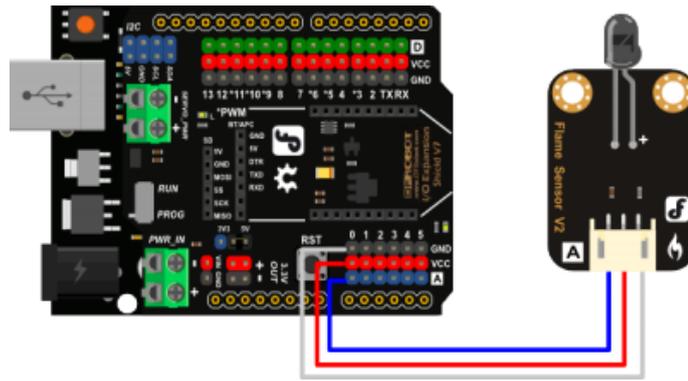


Figura 3.16. Esquema de conexión de sensor de llama DFR0076
Fuente: DFROBOT (2017)

iv) Sensor Termovelocimétrico DN40C

Este dispositivo trabaja con una tensión de alimentación desde los 12Vcc hasta los 30Vcc, consume una corriente de 15uA en reposo y 30mA en estado de alerta. Su rango de temperatura de trabajo está comprendida entre -10°C y 70°C. Este tipo de sensores generalmente según las normas establecidas tienen una cobertura de 20 metros cuadrados por cada dispositivo, lo cual lo hace ideal para aplicarlo en un laboratorio. El esquema de conexión del sensor termovelocimétrico se muestra en la figura 3.17.

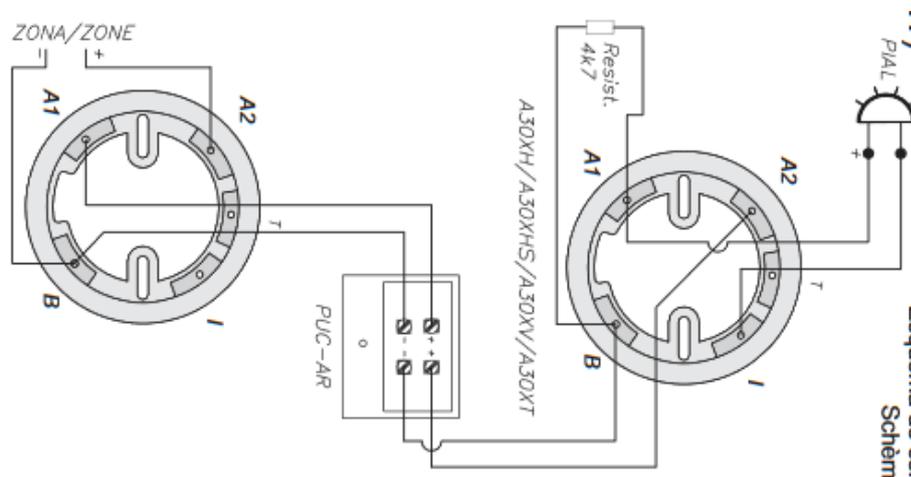


Figura 3.17. Esquema de conexión detector termovelocimétrico
Fuente: Cofem (2016)

3.2.3.2. Requerimientos físicos del subsistema de alerta y extinción

i) Rociador de agua

Los rociadores de agua generalmente poseen una boquilla de descarga, por medio de la cual expulsaran agua presurizada proveniente de la red hidráulica. Gracias a su gran poder de descarga, también pueden cumplir la función de refrigeración. Estos dispositivos poseen varios modelos, cada uno de los cuales poseen sus propias características técnicas. De manera general, los rociadores tienen una densidad de descarga que va desde los 2,25 mm/minuto hasta un máximo de 12,5 mm/minuto; además de poseer etiquetas de color para indicar su temperatura de funcionamiento, la cual va desde los 57°C (color naranja) hasta un máximo de 260°C (color negro). Según las normas establecidas, tal como la NFPA, se indica que estos elementos tienen un área de cobertura máxima de 9 metros cuadrados cada uno y no debe excederse de esta distancia, caso contrario utilizar más de ellos. El área de cobertura de los rociadores se muestra en la figura 3.18.

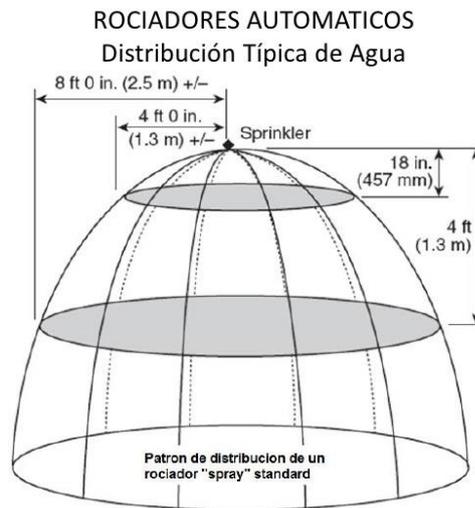


Figura 3.18. Cobertura típica de un rociador para incendio
Fuente: UBA (2011)

ii) Luces de emergencia

Las luces de emergencia son dispositivos utilizados para dar avisos de alerta sobre la presencia de algún tipo de emergencia que se esté produciendo.

Estos dispositivos están dirigidos al sector doméstico, comercial, industrial, etc. Pueden ser de tipo halógenos o de tipo Led, trabajan a diferentes niveles de tensión (12v, 120v, 220v, etc. en corriente alterna), consumiendo de igual manera diferentes valores de potencia, como por ejemplo 35W, 20W, 36W, etc. Las luces de emergencia de tipo Led, están conformadas por varios de estos focos en cada dispositivo de iluminación. Su rango de protección recomendado es de IP65. Cabe recalcar que estas luces poseen batería propia, ya que ante la presencia de un incendio, el suministro de energía tiende a ser suspendido por razones de seguridad. La figura 3.19 muestra un esquema de conexión típico de luces de emergencia.

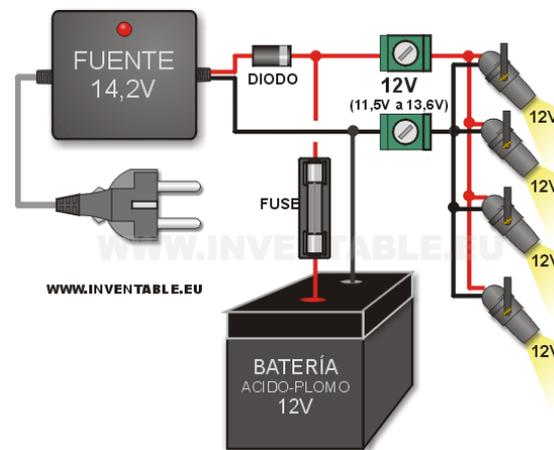


Figura 3.19. Conexión de luces de emergencia 12V
Fuente: Inventable (2015)

iii) Sirenas de alarma

Las sirenas de alarma son dispositivos que se encargan de emitir sonidos potentes para alertar a las personas sobre algún peligro que esté ocurriendo. Dependiendo del fabricante, existe una gran variedad de modelos de sirenas de alarma, cada una de ellas poseen sus propias características técnicas. Dentro de estas se pueden destacar las siguientes: El voltaje de funcionamiento puede ser continuo o alterno, teniendo así alarmas de 12V, 24V en corriente continua o 120V, 220V en corriente alterna. La potencia es otro factor muy importante, ya que esto determinara que tanto sonará al momento de funcionar. El último aspecto a considerar es la máxima temperatura que soporta, que en este caso es importante puesto que será

para un sistema contra incendios. El valor de esta variable es variado y depende del fabricante, por lo general se tienen alarmas de -25°C hasta 60°C ; 5°C hasta 40°C , etc. El esquema de conexión de una sirena de alarma se observa en la figura 3.20.

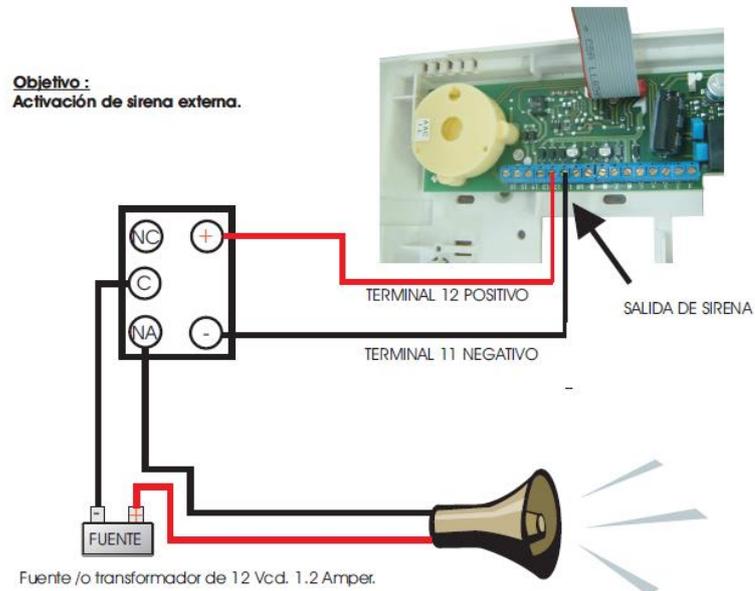


Figura 3.20. Esquema de conexión de una sirena
Fuente: Syscom (2016)

iv) Sensor de presencia

Este dispositivo ayuda a captar el movimiento y presencia de personas dentro de su rango de acción, razón por la cual se ha optado por elegir un modelo que brinda un área de detección de 360° y una máxima distancia de 8 metros, temperatura de funcionamiento que va desde -15°C hasta 70°C ideal para la aplicación que se está realizando. La cobertura y conexión del sensor de presencia aparece en la figura 3.21.



Figura 3.21. Esquema de conexión y cobertura de un sensor de presencia
Fuente: Serviluz (2015)

v) Rociador de CO₂

Los rociadores de CO₂ son utilizados en lugares donde los rociadores de agua pueden causar daños, principalmente a bines materiales, por ejemplo en laboratorios donde existen máquinas y distintos dispositivos que se pueden estropear con el agua o incluso la espuma. Estos rociadores tienen el mismo principio de funcionamiento que los rociadores convencionales, con la diferencia que el agente para combatir el fuego es el gas CO₂.

vi) Extractores de humo

Los extractores de humo son dispositivos que permiten disminuir la concentración del humo de la combustión causada durante el desarrollo de un incendio. Estos elementos pueden ser de varios tipos, como helicoidales, con revestimiento, para interiores o exteriores, así como también varían en su temperatura de operación recomendada, que generalmente es mayor a los 100°C. Generalmente son utilizados cuando el lugar en el que se va a instalar, se encuentra en un área con gran espacio exterior para evacuar los gases de la combustión. En la figura 3.22 se encuentra el funcionamiento de un extractor de humo en un incendio.



Figura 3.22. Extractores de humo en funcionamiento
Fuente: Sodeca (2012)

3.3. Definición de la metodología aplicada para el desarrollo de agentes

Una metodología consiste en un conjunto de pasos o etapas, las cuales permiten guiar a los diseñadores, partiendo de una abstracción general o alto nivel, hasta llegar a una aproximación que de origen a una implementación. Cuando las etapas que se proponen en una metodología son escasas, se la considera muy general, ya que el salto de un paso a otro es grande, por tal motivo se recomienda optar por metodologías que brinde un proceso a seguir equilibrado. Es por esta razón que, tras analizar las metodologías para la creación de agentes, se ha optado por elegir la metodología MaSE.

La metodología MaSE proporciona un enfoque detallado tanto para el análisis y diseño de M.A.S. Esta metodología guía al desarrollador durante todo el proceso de diseño del sistema. Como ya se ha explicado anteriormente, MaSE está dividida en dos etapas:

i) Según DeLoach (2004), la etapa de análisis la cual consta de tres pasos a seguir:

- El primer paso consiste en capturar los objetivos que persigue cada agente, para lo cual en primer lugar se deben de identificar los objetivos, listarlos y finalmente estructurarlos mediante un diagrama de Jerarquía de Objetivos.
- El segundo paso es la aplicación de casos de uso. La aplicación de estos casos es crucial para poder trasladar o convertir los objetivos del agente en roles y tareas asociadas. Para eso se hace uso de diagramas de casos de uso, los cuales son muy similares a los ya conocidos diagramas U.M.L
- El tercer paso de la primera etapa consiste en Refinar los roles del primer paso, con la finalidad de transformar el diagrama de Jerarquía de Objetivos en uno de secuencia, para que sea de más fácil comprensión.

ii) Según DeLoach (2004), la etapa de diseño está conformada por cuatro pasos, los cuales son:

- El primer paso es la creación de las clases de agentes. En este paso, se diseña un diagrama de clases, a partir de los roles de la etapa de análisis.
- El siguiente paso es el ensamblaje de las clases de agentes. Este ensamblaje incluye dos sub- fases: definir la arquitectura del agente y definir la arquitectura de los componentes. En esta parte, el diseñador puede optar por usar su propia arquitectura o utilizar una que ya exista en la literatura.
- El paso final es el diseño del sistema. Para esta etapa se utilizan diagramas de implementación, para mostrar los números, tipos y localizaciones de los agentes en el sistema. Este es considerado como el paso más simple de toda la metodología, siempre y cuando se hayan elaborado correctamente los pasos anteriores.

Adicionalmente, otra de las ventajas del uso de la metodología MaSE, es que posee su propio software, el cual soporta el diseño de cada uno de los diagramas aplicados en las siete etapas. Esta herramienta se llama AgentTool, la cual se utilizará en este trabajo para la creación de los agentes del sistema contra incendios.

3.3.1. Definición de tareas de agentes

Una vez que ya se han identificado los tipos de agentes que supervisaran y controlaran el sistema, es preciso identificar las tareas y funciones que cumple cada uno de ellos, esto se muestra en las siguientes tablas.

Tabla 3.3

Tareas y funciones de los agentes del sistema contra incendios.

Agente Inteligente	Función	Tareas
Agente de detección	Determinar el inicio de un incendio y su ubicación en el entorno.	<p>i) Monitorizar las variables provenientes de los sensores de temperatura, humo, llama.</p> <p>ii) Solicitar información para la confirmación de un incendio.</p> <p>iii) Comunicar al agente de alerta y extinción sobre la presencia de incendio para que este ejecute sus acciones</p>
Agente de alerta, evacuación y extinción	<p>i) Alertar y comunicar a los ocupantes del inmueble sobre la presencia de un incendio</p> <p>ii) Ejecutar los mecanismos de evacuación en caso de haber personas en el laboratorio</p> <p>iii) Activar los equipos contra incendios para controlar el fuego</p>	<p>En caso de incendio:</p> <p>i) Activación de sirenas de alarma</p> <p>ii) Activación de luces de emergencia</p> <p>iii) Activar avisos de evacuación</p> <p>iv) Activar los rociadores de agua y Co2 del inmueble</p> <p>v) Activar los carteles de evacuación y apertura de puertas</p> <p>vi) Comunicar a los bomberos sobre la emergencia presentada</p>

Fuente. Elaboración propia

Tabla 3.4

Tareas y funciones de los actores humanos del sistema contra incendios.

Actores humanos	Función	Tareas
Técnico de mantenimiento	Reparación y ajuste	<p>i) Dar mantenimiento al sistema</p> <p>ii) Cambio de parámetros del sistema</p> <p>iii) Realizar ampliaciones y configuración de nuevos dispositivos</p> <p>iv) Detectar y reparar fallas del sistema, físicas o de software</p>
Estudiantes	Uso de los servicios del sistema	<p>i) Estar alerta a las señales de alarma del sistema</p> <p>ii) Comunicar sobre fallas del sistema al docente encargado</p>
Docentes	Acceso a los servicios del sistema	<p>i) Comunicar sobre fallas del sistema al técnico encargado</p> <p>ii) Coordinar las acciones de evacuación de forma ordenada en caso de incendio</p> <p>iii) Verificar que el sistema funcione de manera adecuada</p> <p>iv) Hacer uso del sistema para garantizar su seguridad</p>

Personal de limpieza	Limpieza del sistema	i) Acceso a los elementos del sistema de manera superficial para su limpieza ii) Comunicar al docente en caso de alguna desactivación involuntaria del sistema
----------------------	----------------------	---

Fuente. Elaboración propia

3.4 Aplicación de la metodología MaSE para el desarrollo de los agentes del sistema contra incendios

En esta sección se procederá a aplicar los pasos antes descritos de la metodología MaSE para el desarrollo de cada agente que conformará el sistema contra incendios, que en este caso son dos: El agente de Detección y el agente de Alerta, Evacuación y Extinción. Cada uno de los pasos a seguir, serán desarrollados aplicando herramientas de modelado UML y el software AgentTools, el cual brinda soporte para esta metodología.

3.4.1. Captura de los objetivos de los agentes del sistema contra incendios

En este primer paso del desarrollo de agentes, se empezará por elaborar el diagrama de objetivos de manera individual para cada agente, los cuales se muestran a continuación:

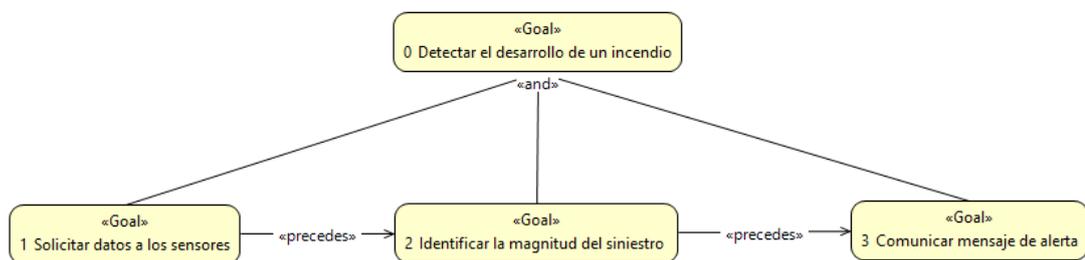


Figura 3.23. Diagrama de metas del agente de detección
Fuente: Elaboración propia

El diagrama de la figura 3.23, corresponde al diagrama de objetivos del agente de Detección. En la parte superior se encuentra el objetivo principal

que en este caso es Detectar el desarrollo de un incendio, mientras que las acciones que debe ejecutar para alcanzar ese objetivo se presentan como subdivisiones, las cuales son:

- Solicitar datos a los sensores que tiene a su control.
- Identificar la magnitud del siniestro en base a la información recibida de los sensores.
- Comunicar el mensaje de alerta que se presente al otro agente.

Por otro lado, el diagrama de metas del agente de Alerta, Evacuación y Extinción se muestra en la imagen 3.24. Al igual que en caso anterior, el objetivo principal de este agente se encuentra en la parte superior, el cual es Alertar, evacuar y extinguir el incendio, mientras que en la parte inferior se describen las tareas para alcanzar ese objetivo:

- Recibir mensaje de alerta por parte del agente anterior
- Activar el sistema de alerta
- Ejecutar los mecanismos de evacuación
- Activar el sistema de extinción de incendios

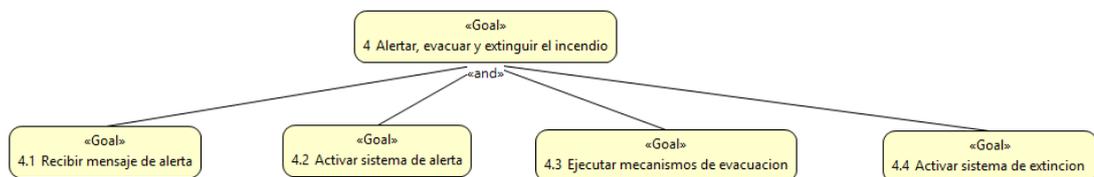


Figura 3.24. Diagrama de metas del agente de alerta, evacuación y extinción
Fuente: Elaboración propia

3.4.2. Aplicación de casos de uso para el desarrollo de cada agente

Una vez que se han establecido de manera general los objetivos de cada agente, el siguiente paso es la elaboración de los casos de uso. Un diagrama de caso de uso brinda una descripción del sistema desde el punto de vista del usuario; mediante esta técnica se pueden obtener los requerimientos del sistema que se está desarrollando.

En la figura 3.25, se muestra el diagrama de casos de uso del agente de Detección, este es representado por un actor, el cual tiene como función detectar un incendio. Para llevar a cabo esta acción, a su vez debe ejecutar otras dos, las cuales son:

- **Verificar el estado de los sensores:** Sensor de temperatura, sensor de llama, sensor de humo y sensor termovelocimétrico
- **Comunicar el mensaje de alerta:** En este caso, dependiendo de los valores recibidos por los sensores, pueden presentarse 4 tipos diferentes de mensajes de alerta; No hay riesgo de incendio, Riesgo medio de incendio, Riesgo alto de incendio y finalmente Incendio en desarrollo.

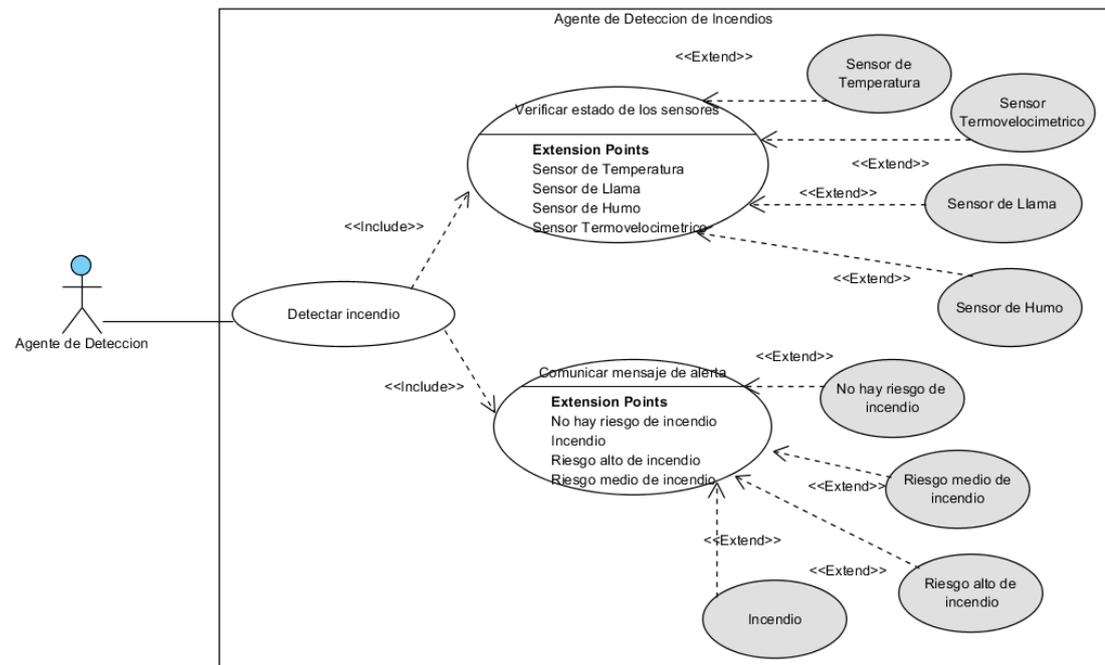


Figura 3.25. Diagrama de casos de uso del agente de detección
Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.26 se muestra el diagrama de casos de uso del agente de Alerta, evacuación y extinción de incendio, al igual que en el caso anterior, es representado por un actor, el cual se encarga de ejecutar varias acciones, las cuales son:

- **Recibir mensajes de alerta:** Esta información proviene del agente de detección y corresponde a los mensajes descritos anteriormente.

- **Verificar el sensor de presencia:** Debe asegurarse si hay personas en el laboratorio para ejecutar las acciones correspondientes según el tipo de alerta recibida.
- **Alertar sobre la emergencia que se ha presentado:** Activar el sistema de alerta, el cual se compone de las sirenas y las luces de emergencia.
- **Evacuar a las personas en caso que estén en el laboratorio:** Ejecución de los mecanismos de evacuación que corresponde a la apertura de puertas y el encendido de los carteles de evacuación colocados en el recinto.
- **Extinguir el incendio:** Poner en marcha los diferentes actuadores que conforman el sistema de extinción.

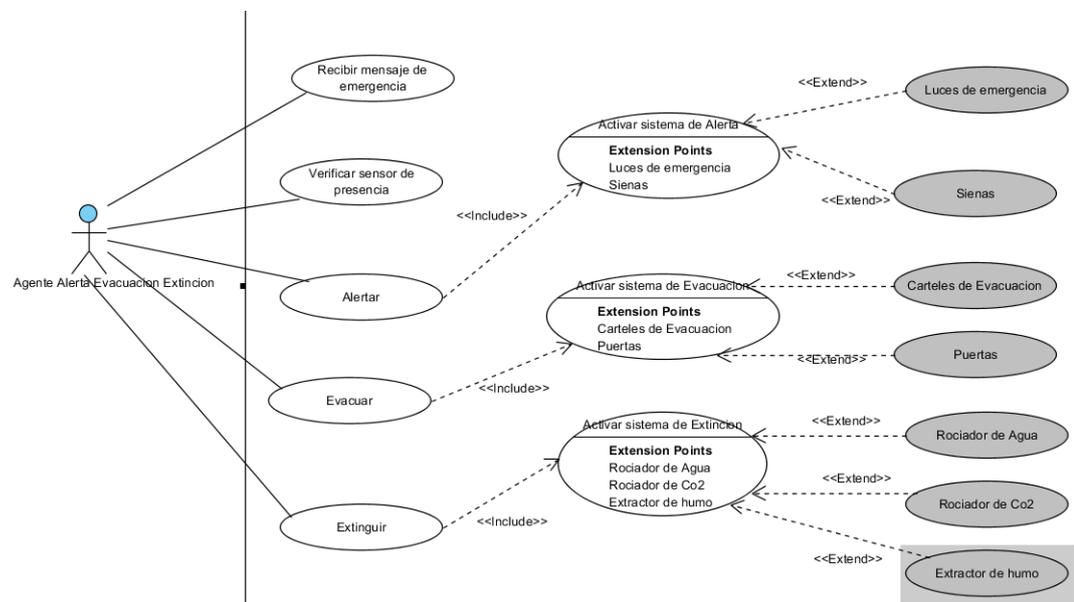


Figura 3.26. Diagrama de casos de uso del agente de alerta, evacuación y extinción
Fuente: Elaboración propia

3.4.3. Refinación de roles del sistema a partir de las tareas de cada agente

El paso siguiente se denomina Refinación de roles, proceso que consiste en tomar la información del diagrama de objetivos y de casos de uso y transformarlo en un solo diagrama que muestre las tareas y las funciones generales de todo el sistema, incluyendo a todos los agentes involucrados. El diagrama de roles del sistema contra incendios se puede apreciar en la figura 3.27, También se muestra la comunicación que se da entre ambos agentes y entre los actores humanos involucrados en el sistema.

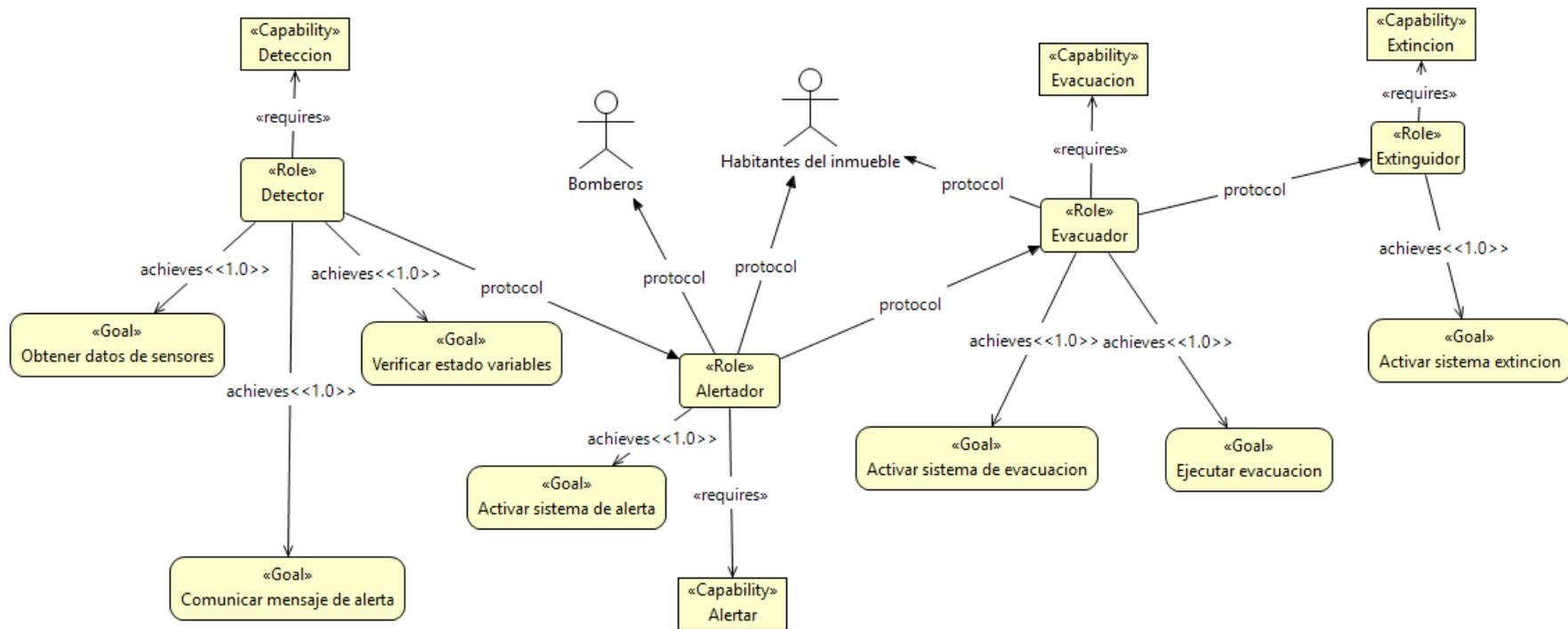


Figura 3.27. Diagrama de roles del sistema basado en agentes inteligentes
Fuente: Elaboración propia

3.4.4. Descripción de las tareas de cada agente a partir del diagrama de roles del sistema

Luego que se han establecido los roles del sistema y de cada agente en forma individual, el siguiente paso es definir las tareas que cada agente tiene que cumplir, pero esta vez de una manera más específica, para lo cual se hace uso de lo que se conoce como diagrama de estado de máquina; este diagrama se encarga de mostrar los cambios o transiciones entre los objetos involucrados, esto gracias al uso de estados, que representan las diferentes combinaciones de información que puede tener un objeto, en este caso, cada agente inteligente.

El diagrama de estados correspondiente al agente de detección de incendios se muestra en la figura 3.28, en él puede apreciarse las diferentes transiciones por las que tiene que pasar el agente para cumplir con su tarea asignada. El proceso inicia con la solicitud del agente para la verificación de los sensores que tiene bajo su control, acto seguido procesa la información recibida y realiza una segunda verificación con la finalidad de evitar una posible falsa alarma. Una vez comprobada la emergencia, se ejecuta la máquina de inferencias creadas para este agente (estas inferencias serán descritas con mayor detalle en la siguiente sección), en la cual se encuentran las diferentes combinaciones que pueden presentarse a partir de las lecturas efectuadas por los sensores.

El diagrama de estado que corresponde al agente de alerta, evacuación y extinción se presenta en la figura 3.29. En este caso, el proceso del agente inicia con la recepción del mensaje de alerta por parte del agente de detección, luego solicita información al sensor de presencia que tiene bajo su supervisión; al igual que en el caso anterior, realiza una segunda comprobación para verificar que la recepción del mensaje de alerta. Luego se encarga de ejecutar su respectiva máquina de inferencias y dependiendo del tipo de mensaje de alerta recibido, que puede ser: Incendio en desarrollo, Riesgo alto de incendio, Riesgo medio de incendio o No hay riesgo de incendio, y si hay o no personas dentro del laboratorio, el agente de alerta, evacuación y extinción de incendios tomará la decisión correspondiente y accionará los actuadores que tiene bajo su control.

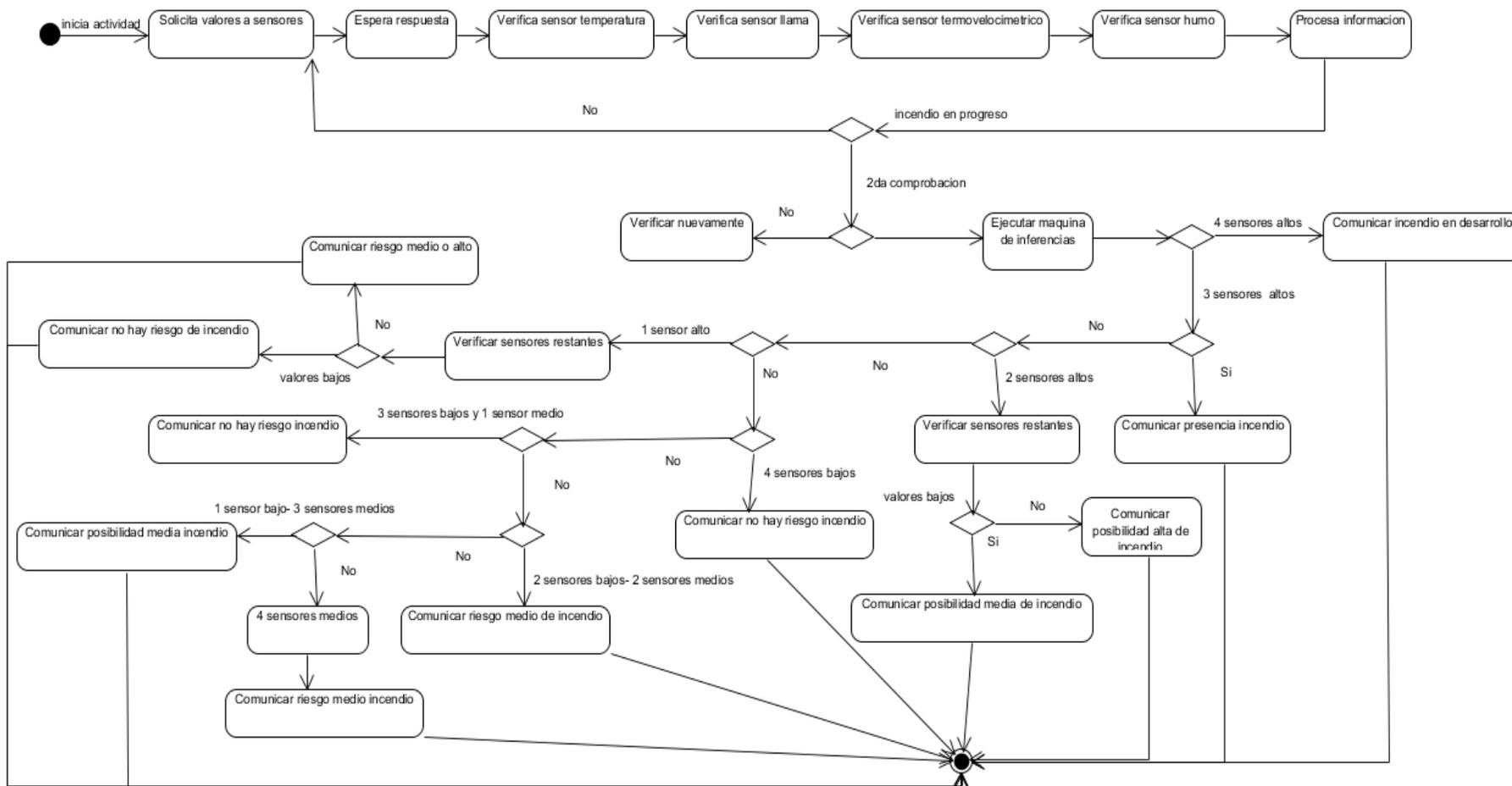


Figura 3.28. Diagrama de estado del agente de detección
Fuente: Elaboración propia

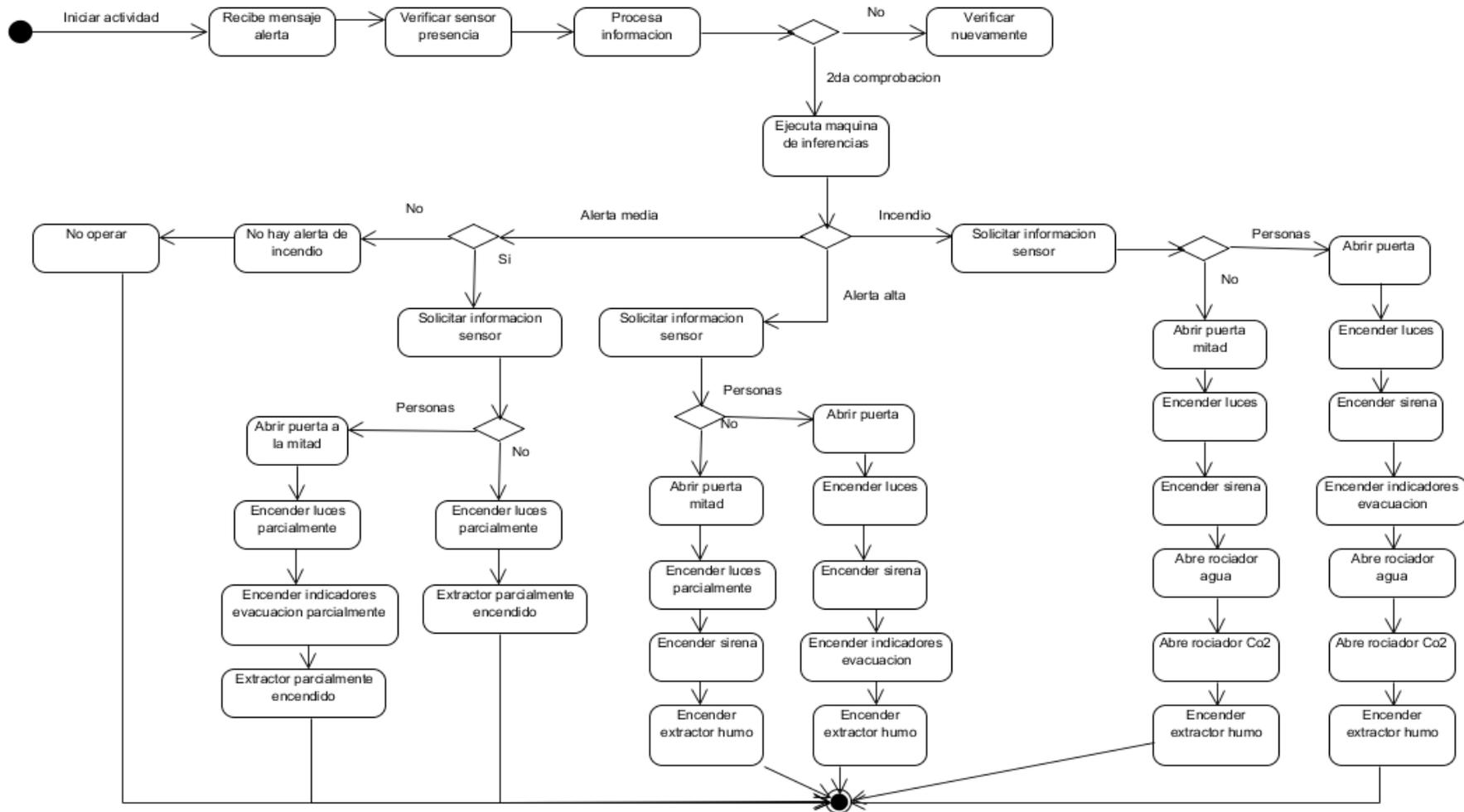


Figura 3.29. Diagrama de estado del agente de alerta, evacuación y extinción
Fuente: Elaboración propia

3.4.5. Elaboración del diagrama de clases de agentes del sistema contra incendios

El penúltimo paso consiste en la elaboración del diagrama de clases de agentes del sistema, el cual describe los atributos y operaciones entre objetos. En este caso se tiene 3 bloques de diagramas, los cuales se comunican entre sí y en conjunto conforman el diagrama de clases de todo el sistema. En la figura 3.30 se muestra el bloque de clases para el agente de detección, en la parte superior se encuentran sus atributos como son cantidad de sensores, tipo, modelos y su ubicación dentro del entorno. Cada uno de estos atributos, son del tipo entero (Integer) o cadena de caracteres (String), mientras que en la parte inferior se encuentran las operaciones que realiza este agente, las cuales ya se han descrito anteriormente.

De igual manera en las figuras 3.31 y 3.32 se muestran los bloques de casos para el agente de alerta, evacuación y extinción. Este agente se divide en 3 partes debido a que ejecuta varias operaciones a la vez, pero en conjunto corresponden a un solo agente. Al igual que en el caso anterior, se presentan sus atributos y operaciones.

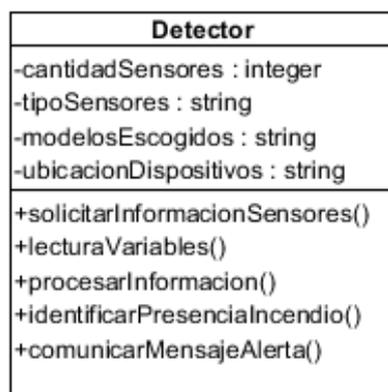


Figura 3.30. Bloque de clases del agente de detección
Fuente: Elaboración propia

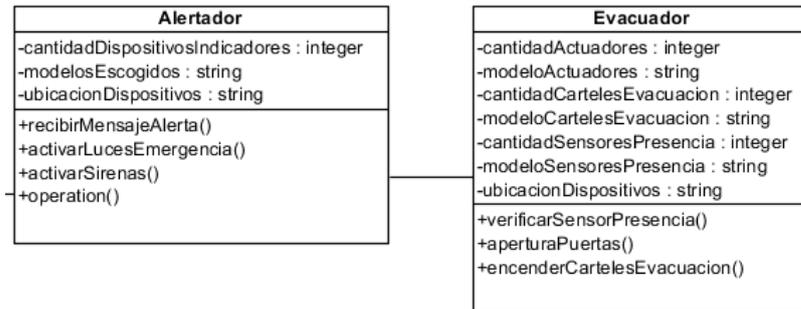


Figura 3.31. Bloque de clases del alertador y evacuador del agente
Fuente: Elaboración propia

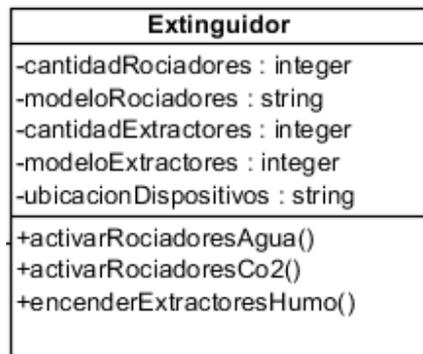


Figura 3.32. Bloque de clases del extinguidor del agente
Fuente: Elaboración propia

3.4.6. Elaboración del diagrama de despliegue del sistema contra incendios basado en agentes inteligentes

La etapa final es el diseño del sistema mediante diagramas de despliegue. Esta etapa es la más simple de todas, siempre y cuando las etapas previas hayan sido abordadas de manera correcta. Básicamente lo que este diagrama muestra es la configuración de los elementos que conforman cada agente y como se ejecuta el sistema en un ambiente real. Es considerado como un modelo de la arquitectura del sistema. El diagrama de despliegue de este sistema se presenta en la figura 3.33. Los agentes son representados mediante bloques que se llaman nodos, mientras que los elementos bajo su control como sensores y actuadores, se encuentra dentro de los bloques.

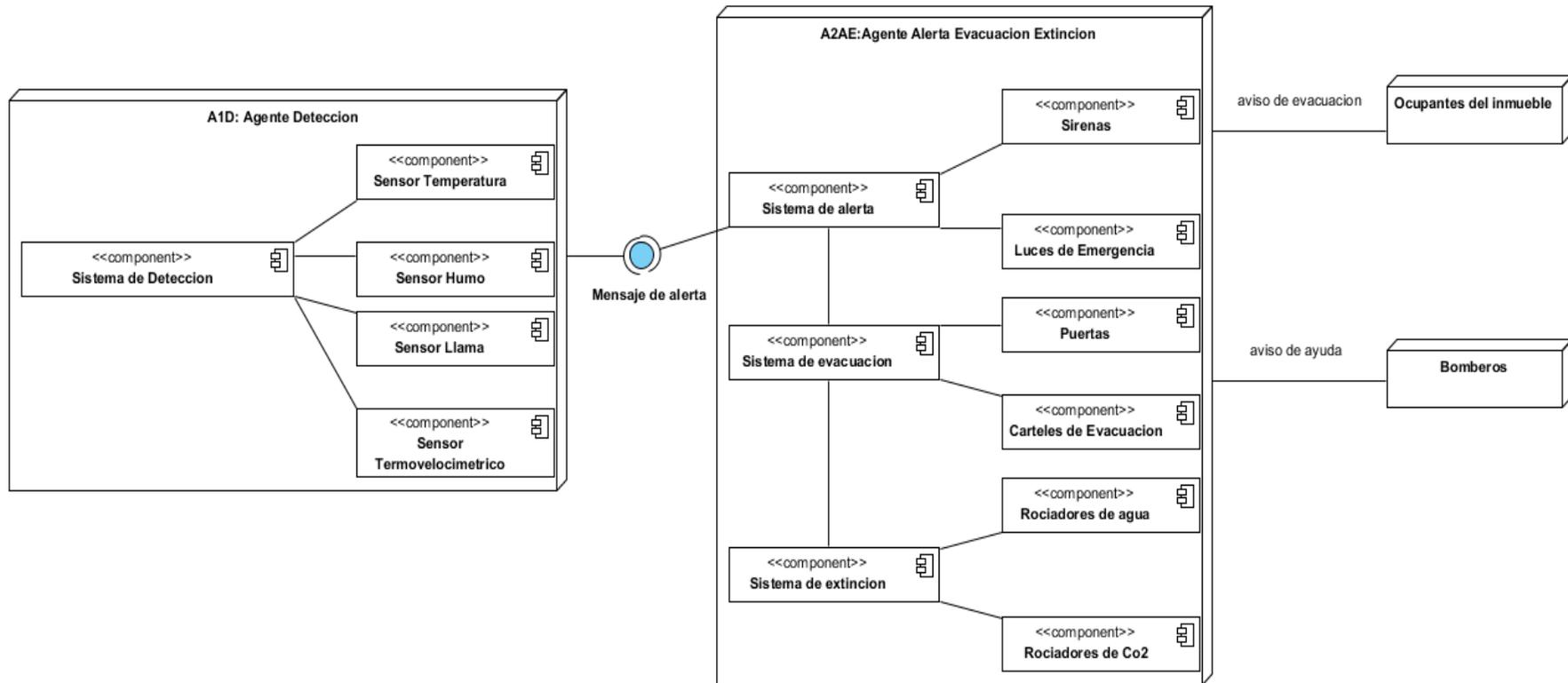


Figura 3.33. Diagrama de despliegue del sistema contra incendios basado en agentes
Fuente: Elaboración propia

3.5. Simulación del sistema basado en agentes utilizando lógica difusa

Luego de la creación de los agentes en el apartado anterior mediante herramientas de modelado U.M.L, la siguiente etapa consiste en el modelado del sistema para verificar su correcto funcionamiento, tarea para la cual se hará uso del software Matlab y de la herramienta de lógica difusa que posee este programa. En este apartado se crearan las diferentes reglas de inferencia para el funcionamiento de cada agente, posteriormente se diseñará cada mediante el programa antes mencionado y finalmente se mostraran los resultados mediante la correspondiente simulación.

3.5.1. Diseño del agente de detección utilizando Matlab

En la figura 3.34 se presenta el agente de detección diseñado en Matlab, el agente se representa mediante el bloque central, las entradas se ubican del lado izquierdo y representan los sensores que supervisa el agente: Temperatura, Humo, Llama, Termovelocimétrico. La salida se encuentra del lado izquierdo y representa los diferentes mensajes de alerta que enviara el agente luego de la lectura de las variables de los sensores.

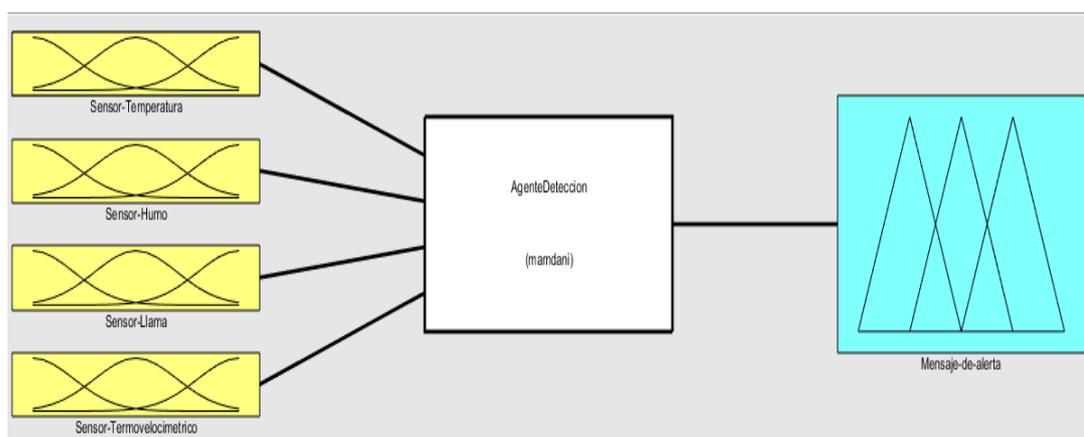


Figura 3.34. Diseño del agente de detección aplicando lógica difusa en Matlab
Fuente: Elaboración propia

Cada entrada y salida se maneja mediante rango de valores, los cuales han sido colocados tomando como referencia los rangos de operación de cada sensor, dando como resultado lo siguiente:

i) Sensor de Temperatura:

Los rangos de temperatura que son considerados para el análisis del sistema se muestran a continuación. Estos valores fueron tomados en base a la temperatura promedio de nuestra ciudad.

- Temperatura normal: 0°C - 40°C
- Temperatura media: 35°C – 55°C
- Temperatura alta: 50°C – 100°C

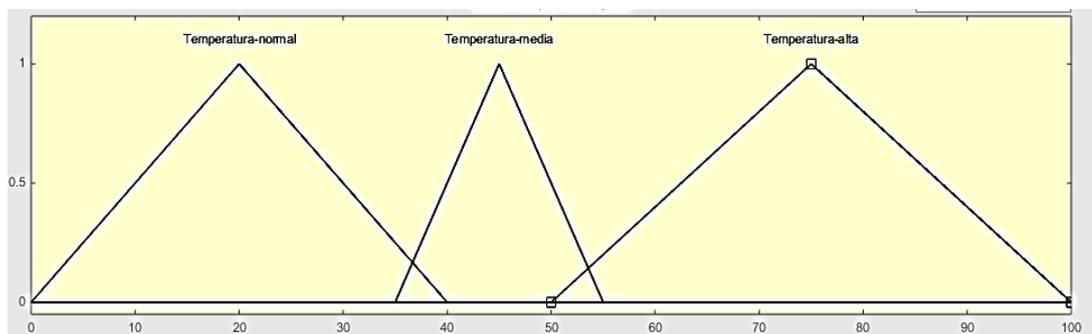


Figura 3.35. Grafica de los rangos del sensor de temperatura utilizados para la simulación
Fuente: Elaboración propia

ii) Sensor de Humo

En esta sección se define los rangos de valores de concentración de humo y gases de la combustión considerando los valores desde los cuales una exposición puede ser muy nocivo para la salud del ser humano,

- Concentración normal: 1ppm – 70ppm
- Concentración media: 60ppm- 150ppm
- Concentración alta: 140ppm– 200ppm

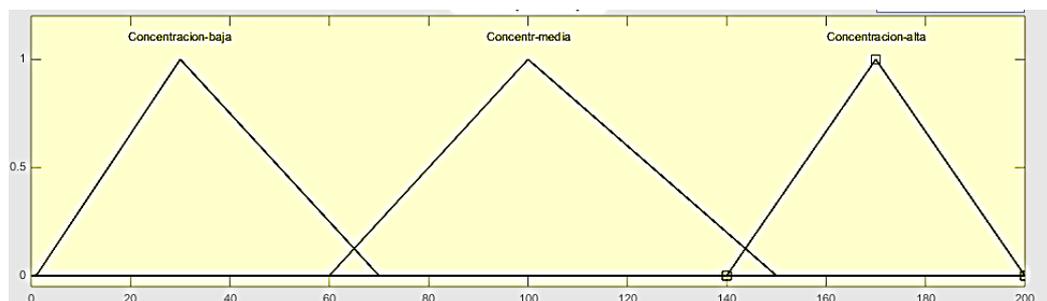


Figura 3.36. Grafica de los rangos del sensor de humo utilizados para la simulación
Fuente: Elaboración propia

iii) Sensor de Llama

Los sensores de llama detectan la longitud de onda de los rayos UV que se causan en un incendio y según esto determinan la presencia de algún tipo de emergencia. Los rangos utilizados de rayos UV se muestran a continuación:

- Llama corta: 100nm – 280nm
- Llama mediana: 260nm – 315nm
- Llama alta: 300nm – 400nm

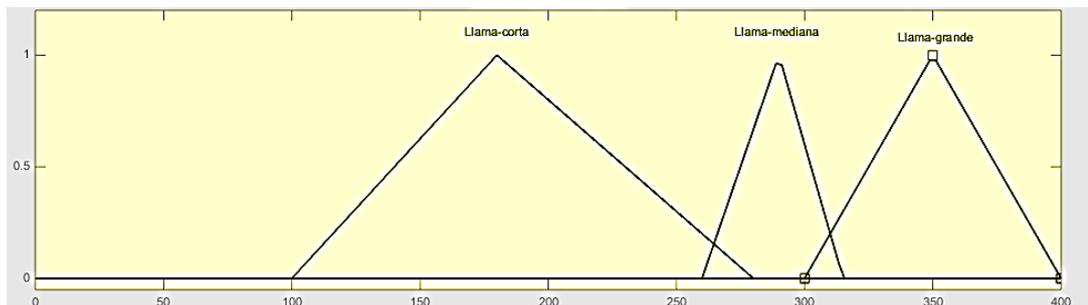


Figura 3.37. Gráfica de los rangos del sensor llama utilizados para la simulación
Fuente: Elaboración propia

iv) Sensor Termovelocimétrico

Este sensor se encarga de medir el cambio de temperatura por minutos; los rangos utilizados en este caso son los siguientes:

- Incremento lento de temperatura: 0°C/min – 2°C/min
- Incremento medio de temperatura: 1.5°C/min – 4°C/min
- Incremento rápido de temperatura: 3.5°C/min – 10°C/min

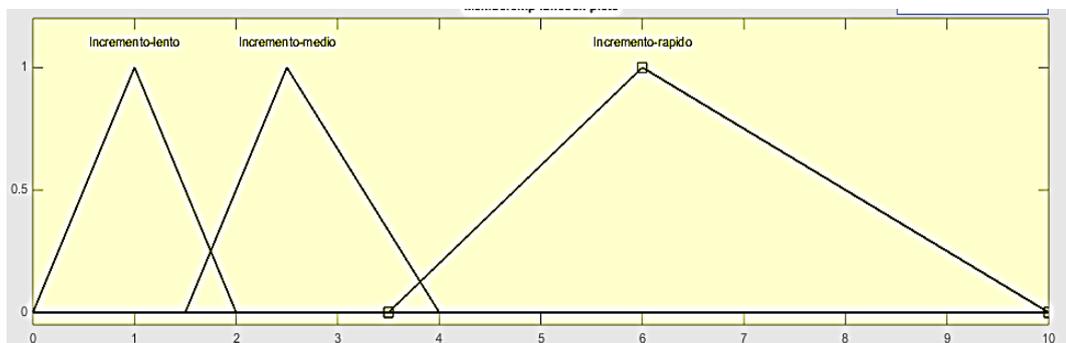


Figura 3.38. Gráfica de los rangos del sensor termovelocimétrico utilizados para la simulación
Fuente: Elaboración propia

v) Mensaje de alerta

El mensaje de alerta es un indicador que el agente de detección le envía al agente de alerta, evacuación y extinción para que ejecute sus acciones en base al tipo de mensaje recibido, los rangos que se utilizarán son los siguientes:

- No hay riesgo de incendio: 0% - 30%
- Riesgo medio de incendio: 25% - 50%
- Riesgo alto de incendio: 40% - 70%
- Incendio en desarrollo: 60% - 100%

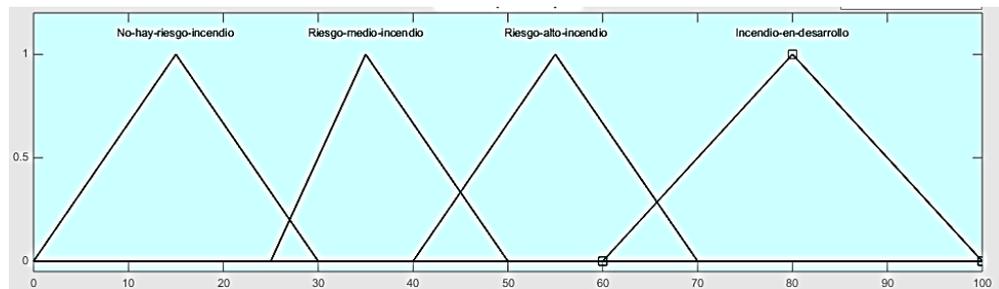


Figura 3.39. Gráfica de los rangos de los mensajes de alerta utilizados para la simulación
Fuente: Elaboración propia

3.5.1.1. Elaboración de las reglas de inferencia para el agente de detección

Las reglas de inferencia son funciones que devuelven una conclusión mediante una serie de premisas analizadas. En este caso, estas reglas permitirán al agente tomar decisiones en base a las distintas combinaciones que pueden generarse a partir de la lectura de las variables de los sensores. Las reglas y las conclusiones son presentadas en las tablas que se muestran a continuación:

Tabla 3.5

Reglas de inferencia para el agente de detección de incendios.

Temperatura		Llama		Humo		Termovelocimétrico		Mensaje
S1. Baja	^	S2 Baja	^	S3. Baja	^	S4. Baja	→	No hay riesgo
S1. Baja	^	S2 Baja	^	S3. Baja	^	S4. Media	→	No hay riesgo
S1. Baja	^	S2 Baja	^	S3. Baja	^	S4. Alta	→	No hay riesgo
S1. Baja	^	S2 Baja	^	S3. Media	^	S4. Baja	→	No hay riesgo
S1. Baja	^	S2 Baja	^	S3. Media	^	S4. Media	→	Riesgo medio
S1. Baja	^	S2 Baja	^	S3. Media	^	S4. Alta	→	Riesgo medio
S1. Baja	^	S2 Baja	^	S3. Alta	^	S4. Baja	→	No hay riesgo
S1. Baja	^	S2 Baja	^	S3. Alta	^	S4. Media	→	Riesgo medio
S1. Baja	^	S2 Baja	^	S3. Alta	^	S4. Alta	→	Riesgo medio
S1. Baja	^	S2 Media	^	S3. Baja	^	S4. Baja	→	No hay riesgo
S1. Baja	^	S2 Media	^	S3. Baja	^	S4. Media	→	Riesgo medio
S1. Baja	^	S2 Media	^	S3. Baja	^	S4. Alta	→	Riesgo medio
S1. Baja	^	S2 Media	^	S3. Media	^	S4. Baja	→	Riesgo medio
S1. Baja	^	S2 Media	^	S3. Media	^	S4. Media	→	Riesgo medio
S1. Baja	^	S2 Media	^	S3. Media	^	S4. Alta	→	Riesgo alto
S1. Baja	^	S2 Media	^	S3. Alta	^	S4. Baja	→	Riesgo medio
S1. Baja	^	S2 Media	^	S3. Alta	^	S4. Media	→	Riesgo alto
S1. Baja	^	S2 Media	^	S3. Alta	^	S4. Alta	→	Riesgo alto
S1. Baja	^	S2. Alta	^	S3. Baja	^	S4. Baja	→	No hay riesgo
S1. Baja	^	S2. Alta	^	S3. Baja	^	S4. Media	→	Riesgo medio
S1. Baja	^	S2. Alta	^	S3. Baja	^	S4. Alta	→	Riesgo medio
S1. Baja	^	S2. Alta	^	S3. Media	^	S4. Baja	→	Riesgo medio
S1. Baja	^	S2. Alta	^	S3. Media	^	S4. Media	→	Riesgo alto
S1. Baja	^	S2. Alta	^	S3. Media	^	S4. Alta	→	Riesgo alto
S1. Baja	^	S2. Alta	^	S3. Alta	^	S4. Baja	→	Riesgo medio
S1. Baja	^	S2. Alta	^	S3. Alta	^	S4. Media	→	Riesgo alto
S1. Baja	^	S2. Alta	^	S3. Alta	^	S4. Alta	→	Incendio
S1. Media	^	S2 Baja	^	S3. Baja	^	S4. Baja	→	No hay riesgo
S1. Media	^	S2 Baja	^	S3. Baja	^	S4. Media	→	Riesgo medio
S1. Media	^	S2 Baja	^	S3. Baja	^	S4. Alta	→	Riesgo medio
S1. Media	^	S2 Baja	^	S3. Media	^	S4. Baja	→	Riesgo medio
S1. Media	^	S2 Baja	^	S3. Media	^	S4. Media	→	Riesgo medio
S1. Media	^	S2 Baja	^	S3. Media	^	S4. Alta	→	Riesgo alto
S1. Media	^	S2 Baja	^	S3. Alta	^	S4. Baja	→	Riesgo medio
S1. Media	^	S2 Baja	^	S3. Alta	^	S4. Media	→	Riesgo alto
S1. Media	^	S2 Baja	^	S3. Alta	^	S4. Alta	→	Riesgo alto
S1. Media	^	S2 Media	^	S3. Baja	^	S4. Baja	→	Riesgo medio
S1. Media	^	S2 Media	^	S3. Baja	^	S4. Media	→	Riesgo medio
S1. Media	^	S2 Media	^	S3. Baja	^	S4. Alta	→	Riesgo alto
S1. Media	^	S2 Media	^	S3. Media	^	S4. Baja	→	Riesgo medio
S1. Media	^	S2 Media	^	S3. Media	^	S4. Media	→	Riesgo medio
S1. Media	^	S2 Media	^	S3. Media	^	S4. Alta	→	Riesgo alto
S1. Media	^	S2 Media	^	S3. Alta	^	S4. Baja	→	Riesgo alto
S1. Media	^	S2 Media	^	S3. Alta	^	S4. Media	→	Riesgo alto
S1. Media	^	S2 Media	^	S3. Alta	^	S4. Alta	→	Riesgo alto
S1. Media	^	S2. Alta	^	S3. Baja	^	S4. Baja	→	Riesgo medio

S1. Media	^	S2. Alta	^	S3. Baja	^	S4. Media	→	Riesgo alto
S1. Media	^	S2. Alta	^	S3. Baja	^	S4. Alta	→	Riesgo alto
S1. Media	^	S2. Alta	^	S3. Media	^	S4. Baja	→	Riesgo alto
S1. Media	^	S2. Alta	^	S3. Media	^	S4. Media	→	Riesgo alto
S1. Media	^	S2. Alta	^	S3. Media	^	S4. Alta	→	Riesgo alto
S1. Media	^	S2. Alta	^	S3. Alta	^	S4. Baja	→	Riesgo alto
S1. Media	^	S2. Alta	^	S3. Alta	^	S4. Media	→	Riesgo alto
S1. Media	^	S2. Alta	^	S3. Alta	^	S4. Alta	→	Incendio
S1. Alta	^	S2 Baja	^	S3. Baja	^	S4. Baja	→	No hay riesgo
S1. Alta	^	S2 Baja	^	S3. Baja	^	S4. Media	→	Riesgo medio
S1. Alta	^	S2 Baja	^	S3. Baja	^	S4. Alta	→	Riesgo medio
S1. Alta	^	S2 Baja	^	S3. Media	^	S4. Baja	→	Riesgo medio
S1. Alta	^	S2 Baja	^	S3. Media	^	S4. Media	→	Riesgo alto
S1. Alta	^	S2 Baja	^	S3. Media	^	S4. Alta	→	Riesgo alto
S1. Alta	^	S2 Baja	^	S3. Alta	^	S4. Baja	→	Riesgo medio
S1. Alta	^	S2 Baja	^	S3. Alta	^	S4. Media	→	Riesgo alto
S1. Alta	^	S2 Baja	^	S3. Alta	^	S4. Alta	→	Incendio
S1. Alta	^	S2 Media	^	S3. Baja	^	S4. Baja	→	Riesgo medio
S1. Alta	^	S2 Media	^	S3. Baja	^	S4. Media	→	Riesgo alto
S1. Alta	^	S2 Media	^	S3. Baja	^	S4. Alta	→	Riesgo alto
S1. Alta	^	S2 Media	^	S3. Media	^	S4. Baja	→	Riesgo alto
S1. Alta	^	S2 Media	^	S3. Media	^	S4. Media	→	Riesgo alto
S1. Alta	^	S2 Media	^	S3. Media	^	S4. Alta	→	Riesgo alto
S1. Alta	^	S2 Media	^	S3. Alta	^	S4. Baja	→	Riesgo alto
S1. Alta	^	S2 Media	^	S3. Alta	^	S4. Media	→	Riesgo alto
S1. Alta	^	S2 Media	^	S3. Alta	^	S4. Alta	→	Incendio
S1. Alta	^	S2. Alta	^	S3. Baja	^	S4. Baja	→	Riesgo medio
S1. Alta	^	S2. Alta	^	S3. Baja	^	S4. Media	→	Riesgo alto
S1. Alta	^	S2. Alta	^	S3. Baja	^	S4. Alta	→	Incendio
S1. Alta	^	S2. Alta	^	S3. Media	^	S4. Baja	→	Riesgo alto
S1. Alta	^	S2. Alta	^	S3. Media	^	S4. Media	→	Riesgo alto
S1. Alta	^	S2. Alta	^	S3. Media	^	S4. Alta	→	Incendio
S1. Alta	^	S2. Alta	^	S3. Alta	^	S4. Baja	→	Incendio
S1. Alta	^	S2. Alta	^	S3. Alta	^	S4. Media	→	Incendio
S1. Alta	^	S2. Alta	^	S3. Alta	^	S4. Alta	→	Incendio

Fuente. Elaboración propia

3.5.1.2. Simulación del agente de detección

La simulación se realiza una vez que las reglas de inferencia han sido añadidas tal como se muestran en la tabla al software de control, generando la ventana que se muestra en la figura 3.40 en la cual se presentan todas las reglas de inferencia en el mismo orden que se aprecia en la tabla 3.6. Conforme se vayan cambiando los valores de las variables, se obtendrá el mensaje de alerta correspondiente; en las figuras 3.41 a 3.48 se muestran unos ejemplos del funcionamiento del primer agente, simulado tanto en Matlab como en diagrama de barras utilizando Excel.

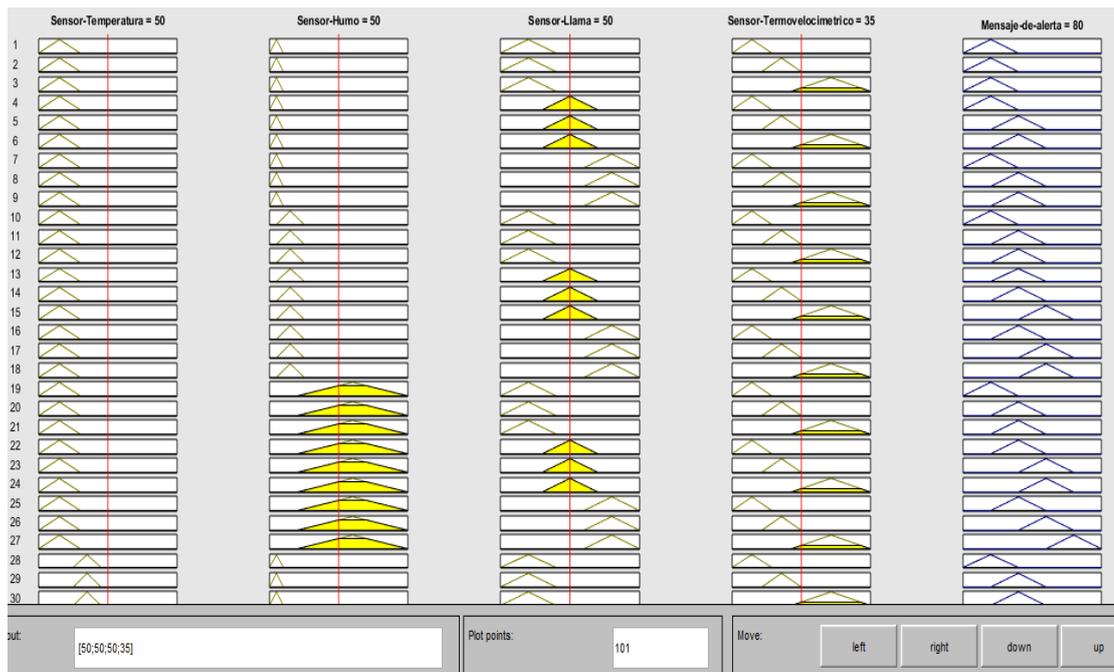


Figura 3.40. Pantalla de inicio para la simulación del agente de detección
Fuente: Elaboración propia

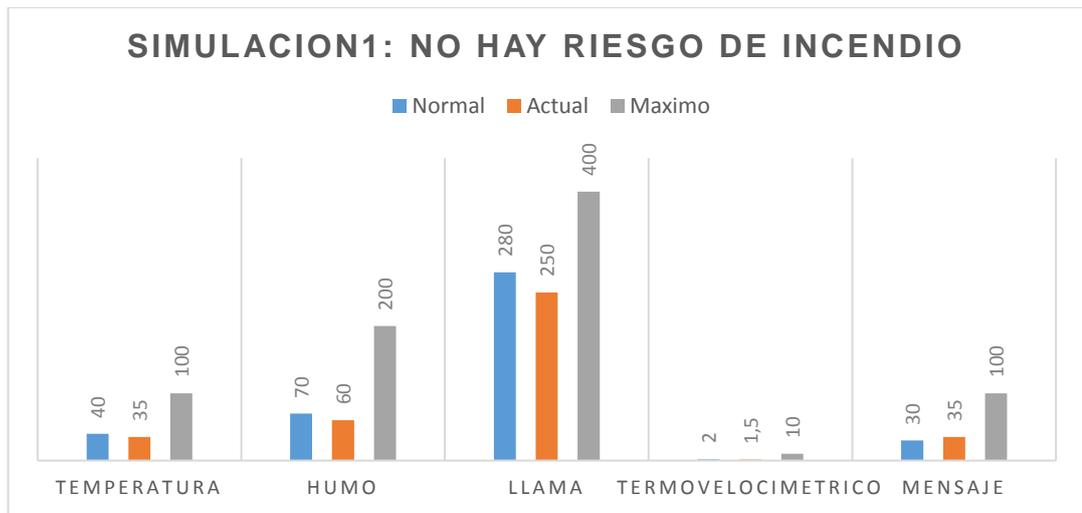


Figura 3.41. Diagrama en barras que indica que no hay riesgo de incendio
Fuente: Elaboración propia



Figura 3.42. Simulación en Matlab que produce un mensaje de que no hay riesgo de incendio
Fuente: Elaboración propia

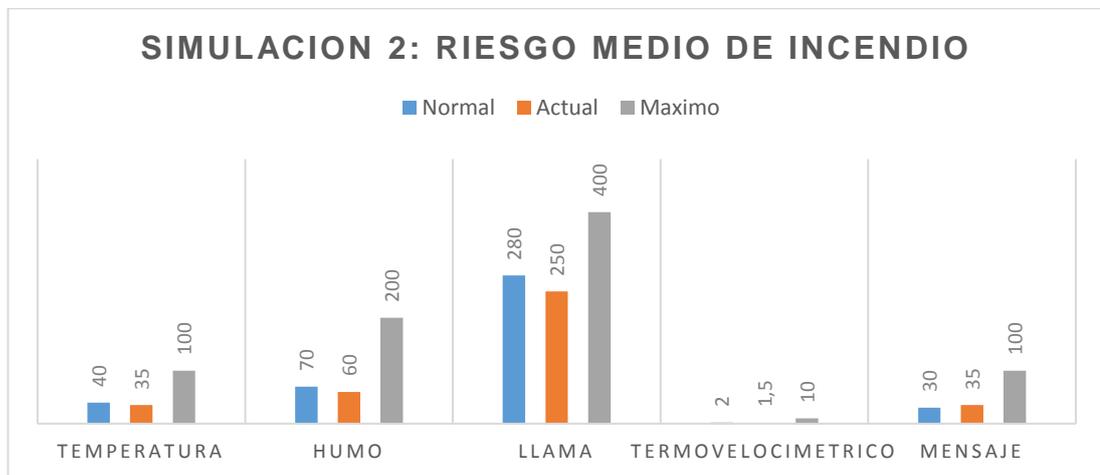


Figura 3.43. Diagrama en barras que indica que hay riesgo medio de incendio
Fuente: Elaboración propia

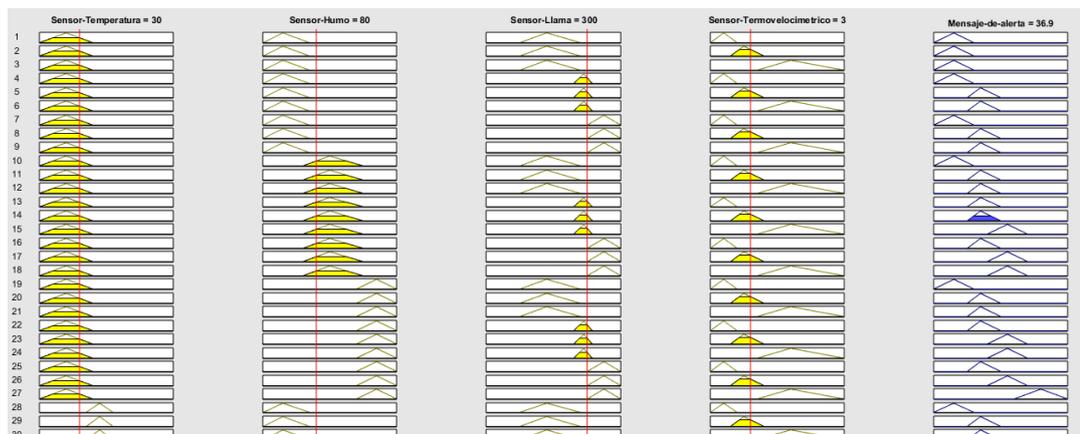


Figura 3.44. Simulación en Matlab que produce un mensaje de riesgo medio de incendio
Fuente: Elaboración propia

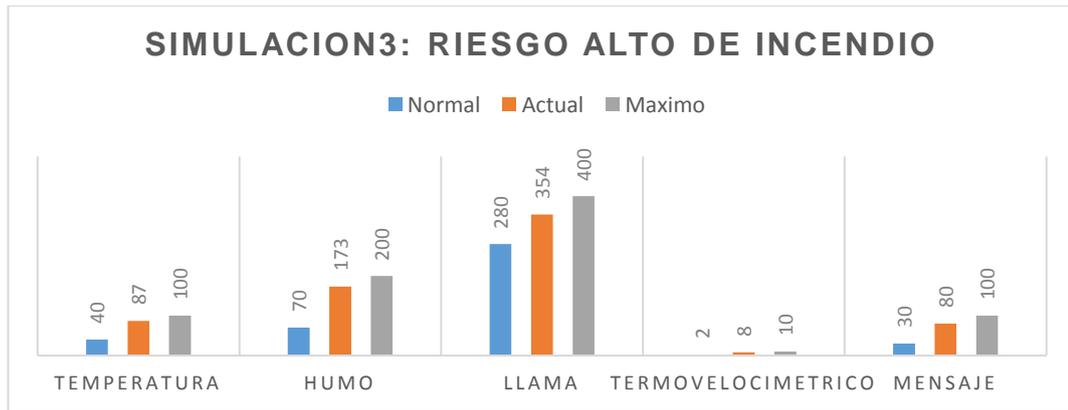


Figura 3.45. Diagrama en barras que indica que hay riesgo alto de incendio
Fuente: Elaboración propia

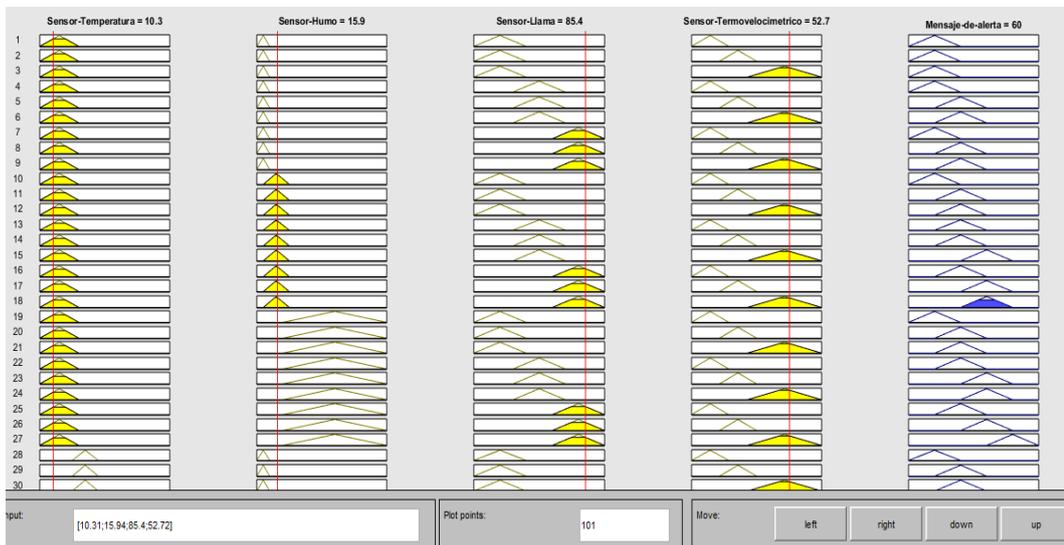


Figura 3.46. Simulación en Matlab que produce un mensaje de riesgo alto de incendio
Fuente: Elaboración propia

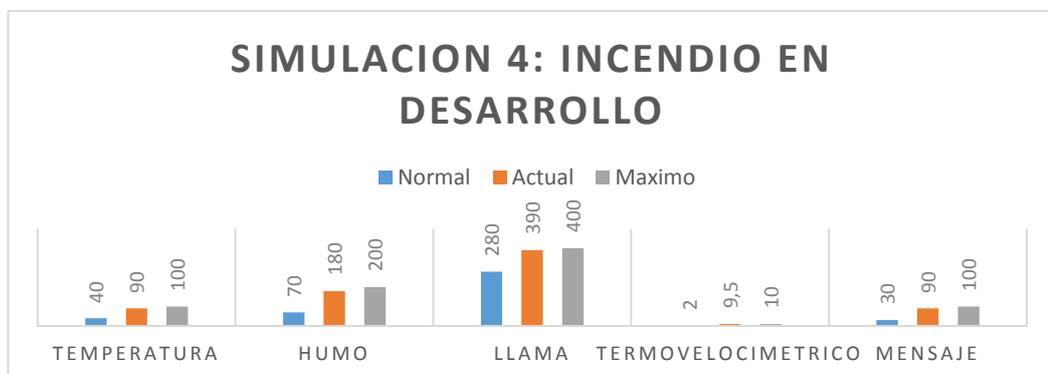


Figura 3.47. Diagrama en barras que indica que hay un incendio en desarrollo
Fuente: Elaboración propia

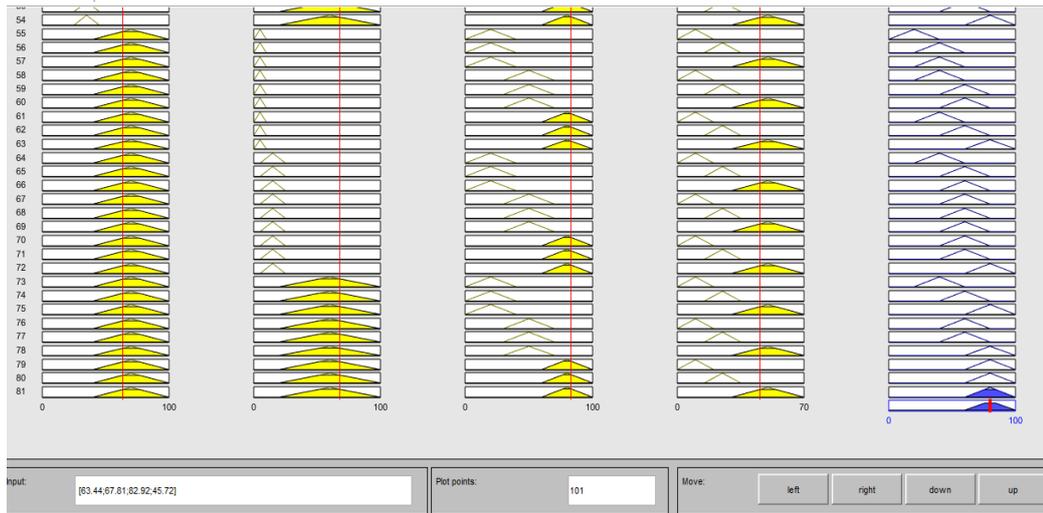


Figura 3.48. Simulación en Matlab que produce un mensaje de incendio en desarrollo
Fuente: Elaboración propia

3.5.2. Diseño del agente de alerta evacuación y extinción utilizando Matlab

En la figura 3.49 se presenta el agente de alerta, evacuación y extinción diseñado en Matlab, al igual que en el caso anterior el agente se representa mediante el bloque central, las entradas representan al sensor de presencia y los mensajes de alerta enviados por parte del agente de detección. Las salidas en cambio, representan los distintos actuadores que se activarán según el tipo de alerta recibida: Luces de emergencia, Sirena, Rociador de agua, Rociador de Co2, Indicadores de evacuación, Puertas, Extractores de humo.

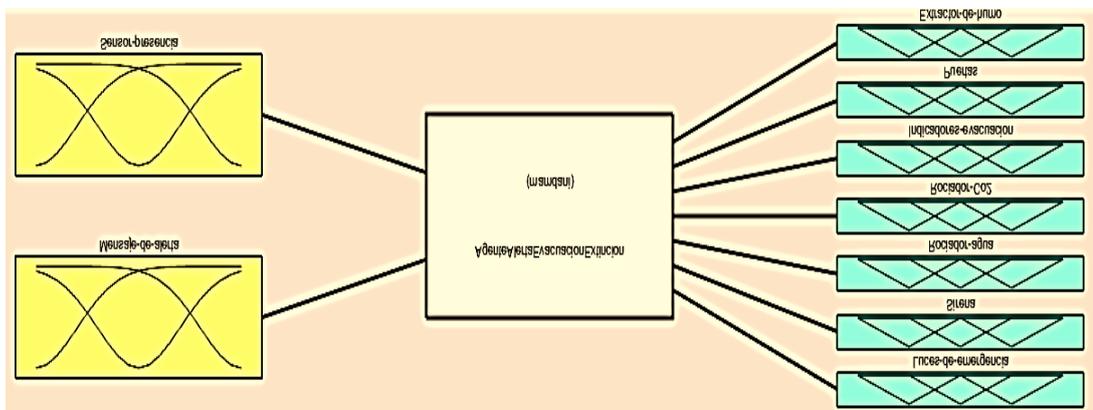


Figura 3.49. Diseño del agente de alerta, evacuación y extinción aplicado lógica difusa
Fuente: Elaboración propia

i) Sensor de presencia

A continuación se muestra el rango de valores para los cuales trabajará el sensor de presencia:

- No hay personas: 0° - 100°
- Personas presentes: 80° - 360°

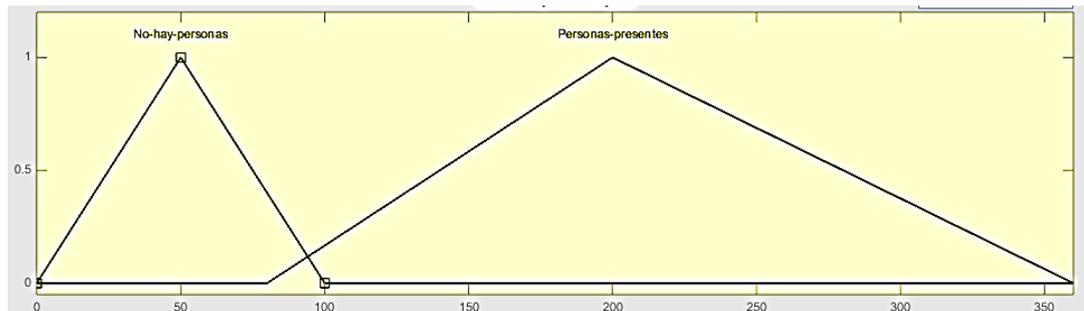


Figura 3.50. Gráfica de los rangos del sensor de presencia utilizados para la simulación
Fuente: Elaboración propia

ii) Luces de emergencia

Los rangos de trabajo de las luces de emergencia se presentan a continuación:

- Ligeramente encendidas: 0lux - 300lux
- Parcialmente encendidas: 250lux - 500lux
- Encendidas: 450lux - 700lux

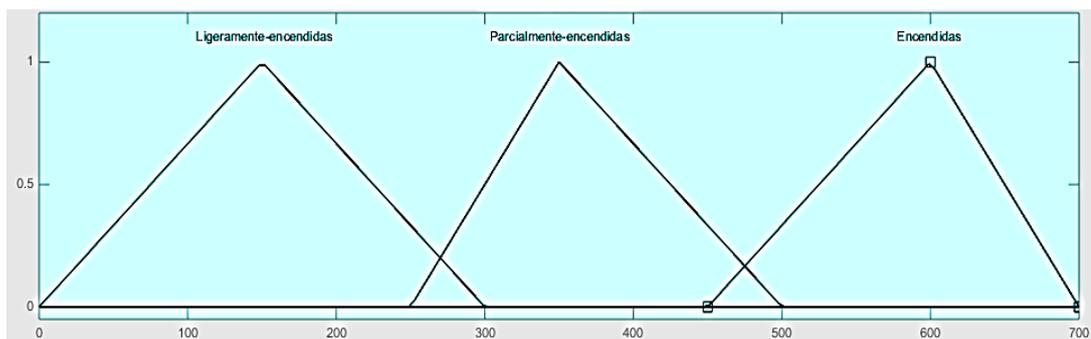


Figura 3.51. Gráfica de los rangos de las luces de emergencia utilizados para la simulación
Fuente: Elaboración propia

iii) Sirenas

En esta sección se muestran los rangos de valores utilizados para las sirenas de alarma:

- Sonido bajo: 10db – 50db
- Sonido bajo: 40db-100db

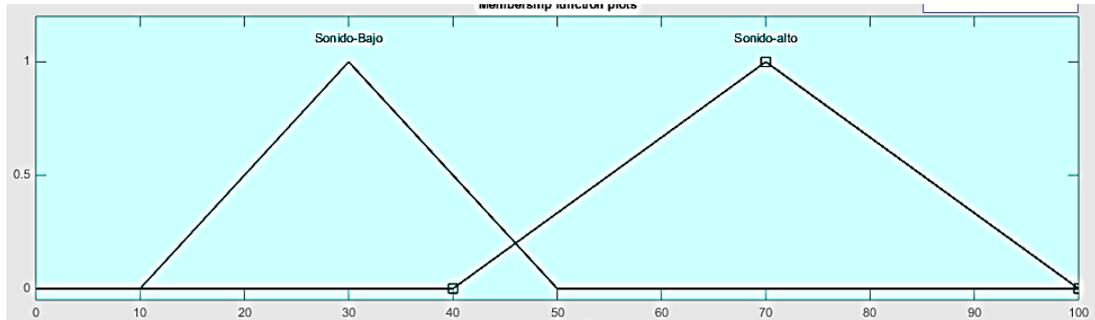


Figura 3.52. Gráfica de los rangos de las sirenas utilizadas para la simulación
Fuente: Elaboración propia

iv) Rociadores de agua y CO2

A continuación se presentan los rangos utilizados para los rociadores, tanto de agua como de CO2

- Cerrado: 0- 40%
- Abierto: 30% - 100%

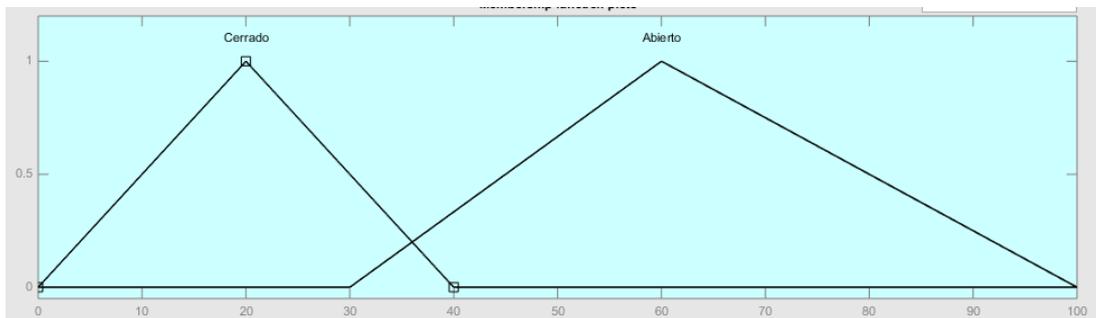


Figura 3.53. Gráfica de los rangos de los rociadores utilizados para la simulación
Fuente: Elaboración propia

v) Indicadores de evacuación

Los rangos de valores de los indicadores de evacuación se presentan a continuación:

- Ligeramente Encendidos: 0lux- 30lux
- Parcialmente encendidos: 25lux- 60lux
- Encendidos: 50lux -150lux

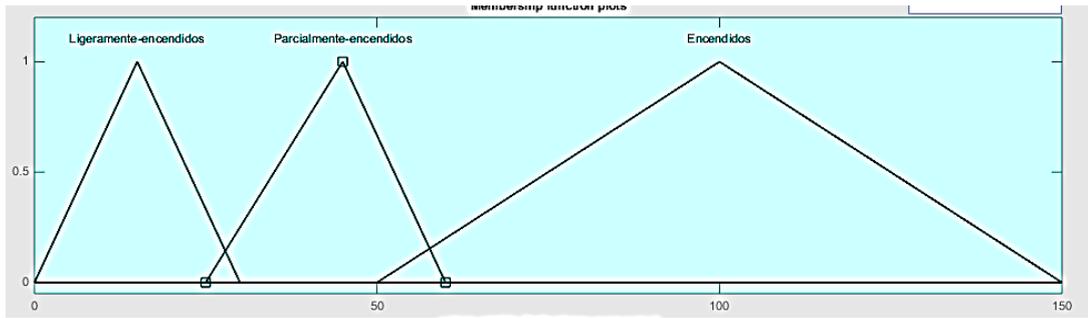


Figura 3.54. Gráfica de los rangos de los indicadores de evacuación utilizados para la simulación
Fuente: Elaboración propia

Vi) Puertas

Los rangos de valores utilizados para la apertura de puertas se muestran como sigue:

- Cerradas: 0% - 20%
- Abiertas a la mitad: 15%- 55%
- Abiertas:40%- 100%

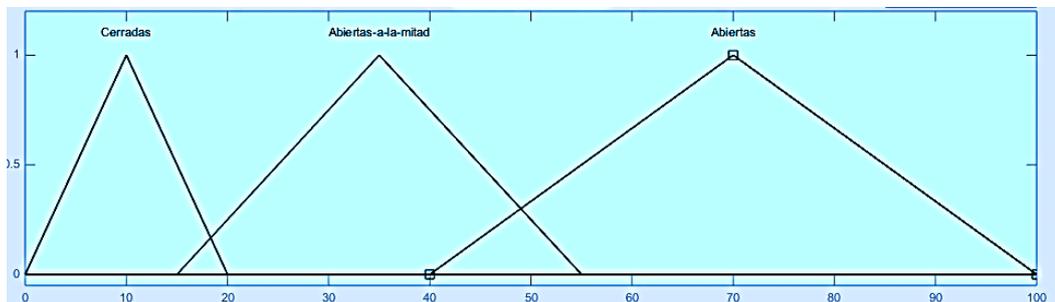


Figura 3.55. Gráfica de los rangos de apertura de puertas utilizados para la simulación
Fuente: Elaboración propia

vii) Extractores de humo

Los valores utilizados para el extractor de humo se muestran a continuación:

- Ligeramente encendidos: 0% - 30%
- Parcialmente encendidos: 15%- 50%
- Encendidos: 40% - 100%

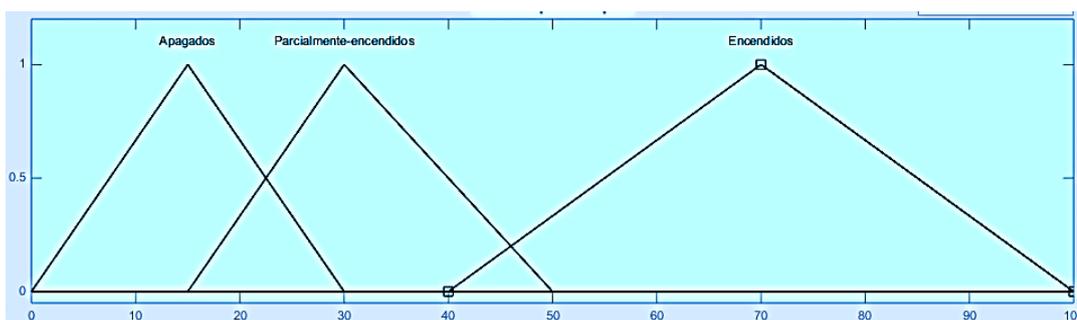


Figura 3.56. Gráfica de los rangos de extractores de humo utilizados para la simulación
Fuente: Elaboración propia

3.5.2.1. Elaboración de las reglas de inferencia para el agente de alerta evacuación y extinción

En las tablas 3.6 se muestra las diferentes combinaciones que se pueden presentar para el agente de alerta evacuación y extinción, así como los actuadores que debe accionar según el tipo de alerta que se presente.

Tabla 3.6
Reglas de inferencia para el agente de alerta, evacuación y extinción de incendios.

Mensaje de alerta	Sensor Presencia		Puertas	Luces emergencias	Sirenas	Carteles evacuación
No hay riesgo incendio	Personas Presentes	→	Cerrada	Apagadas	Apagadas	Apagados
No hay riesgo incendio	No hay personas	→	Cerrada	Apagadas	Apagadas	Apagados
Riesgo medio incendio	Personas Presentes	→	Mitad	Parcialmente encendidas	Apagadas	Parcialmente encendidos
Riesgo medio incendio	No hay personas	→	Cerrada	Parcialmente encendidas	Apagadas	Apagados
Riesgo alto incendio	Personas Presentes	→	Abiertas	Encender luces	Encendidas	Encendidos
Riesgo alto incendio	No hay personas	→	Mitad	Parcialmente encendidas	Encendidas	Parcialmente encendidos
Incendio en desarrollo	Personas Presentes	→	Abiertas	Encender luces	Encendidas	Encendidos
Incendio en desarrollo	No hay personas	→	Mitad	Encender luces	Encendidas	Apagados

Mensaje de alerta		Sensor Presencia		Rociador agua	Rociador Co2	Extractor humo
No hay riesgo incendio	^	Personas Presentes	→	Cerrado	Cerrado	Apagado
No hay riesgo incendio	^	No hay personas	→	Cerrado	Cerrado	Apagado
Riesgo medio incendio	^	Personas Presentes	→	Cerrado	Cerrado	Parcialmente encendido
Riesgo medio incendio	^	No hay personas	→	Cerrado	Cerrado	Parcialmente encendido
Riesgo alto incendio	^	Personas Presentes	→	Cerrado	Cerrado	Encendido
Riesgo alto incendio	^	No hay personas	→	Cerrado	Cerrado	Encendido
Incendio en desarrollo	^	Personas Presentes	→	Abierto	Abierto	Encendido
Incendio en desarrollo	^	No hay personas	→	Abierto	Abierto	Encendido

Fuente. Elaboración propia

3.5.2.2. Simulación del agente de alerta evacuación y extinción

Una vez ingresadas las reglas de inferencia para este agente, la pantalla de simulación se presenta en la figura 3.57, mientras que en las figuras 3.58 a 3.66 se muestran unos ejemplos de las posibles situaciones que pueden presentarse simulados tanto en Matlab como en Excel.

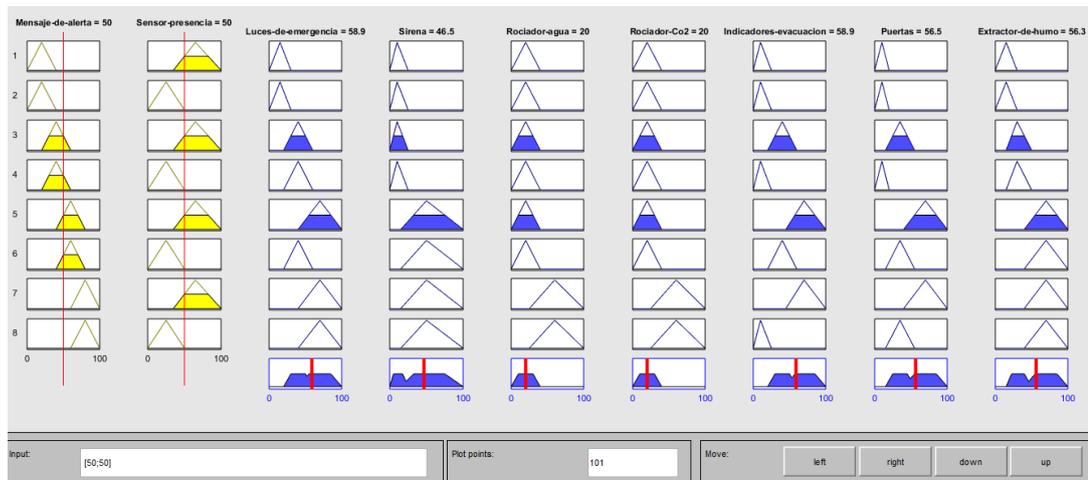


Figura 3.57. Pantalla de inicio para la simulación del agente de alerta, evacuación y extinción

Fuente: Elaboración propia

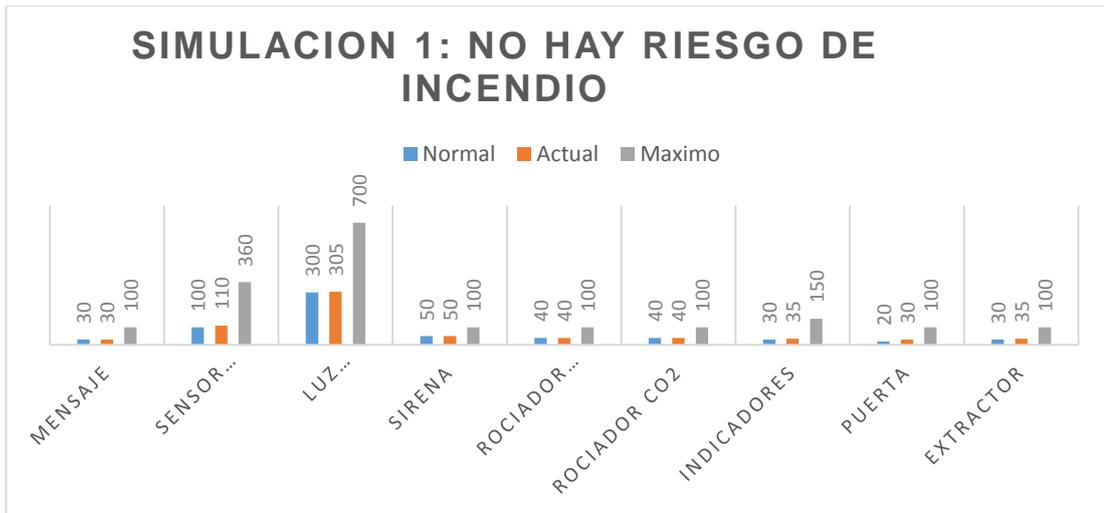


Figura 3.58. Diagrama en barras que indica que hay riesgo medio de incendio
Fuente: Elaboración propia

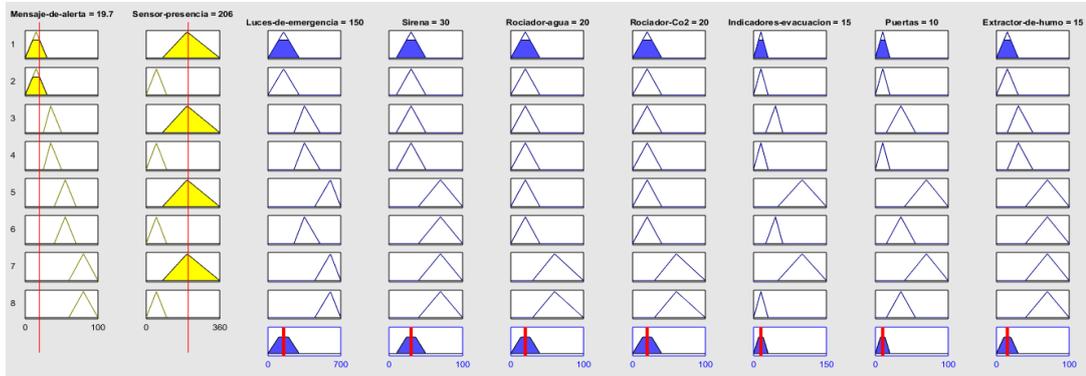


Figura 3.59. Simulación en Matlab cuando se recibe un mensaje de no existencia de riesgo en presencia de personas
Fuente: Elaboración propia

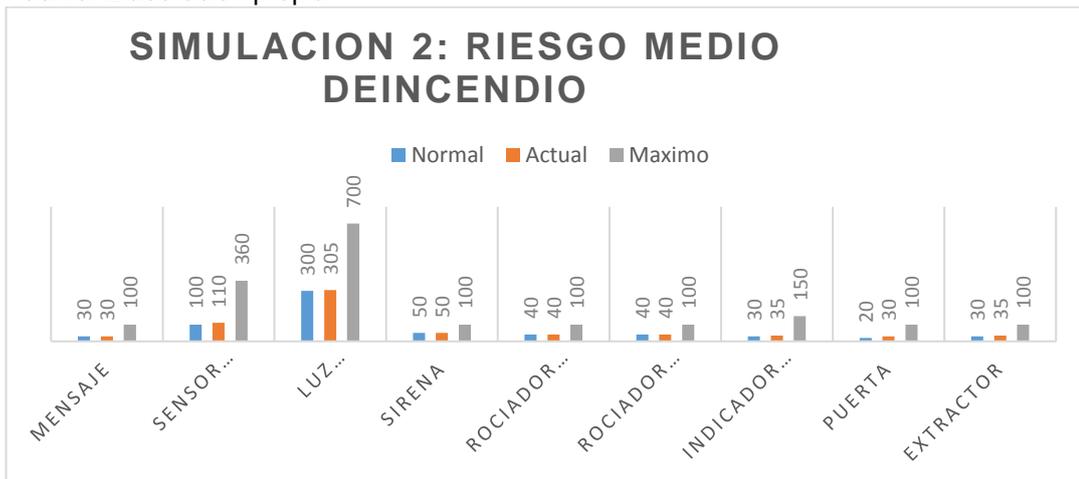


Figura 3.60. Diagrama en barras que indica que hay riesgo medio de incendio
Fuente: Elaboración propia

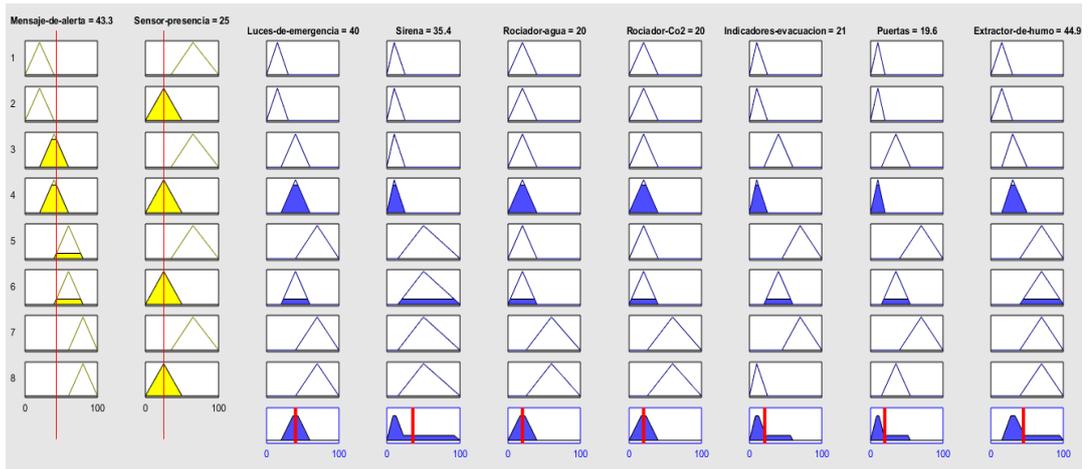


Figura 3.61. Simulación cuando se recibe un mensaje de riesgo medio de incendio sin presencia de personas
Fuente: Elaboración propia

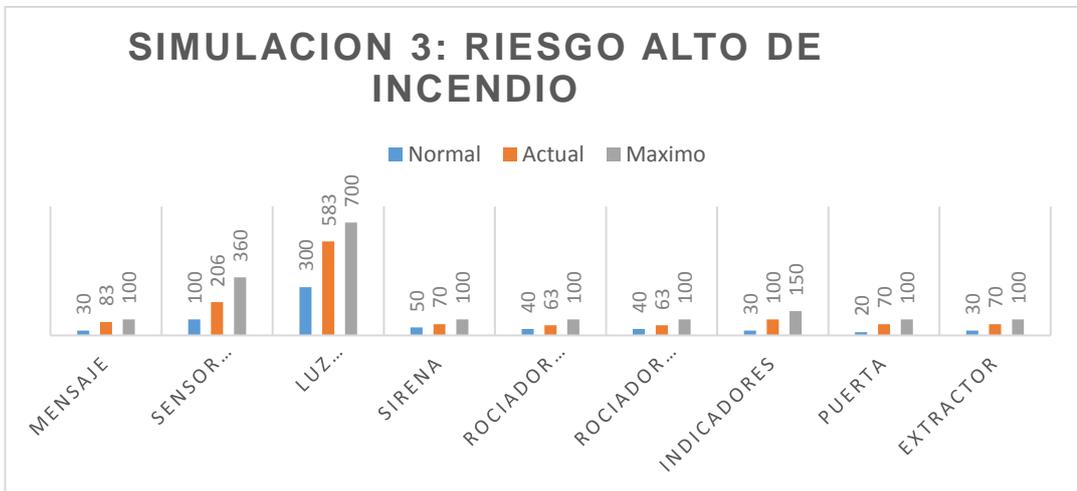


Figura 3.62. Diagrama en barras que indica que hay riesgo medio de incendio
Fuente: Elaboración propia

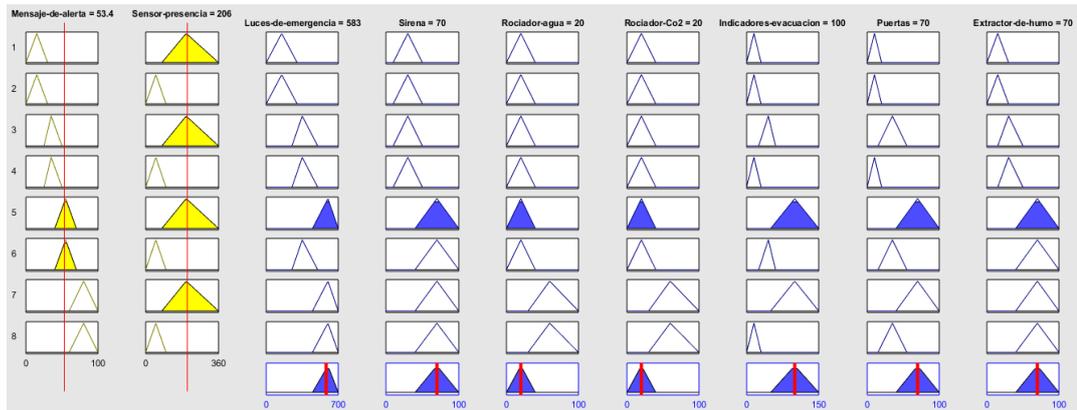


Figura 3.63. Simulación en Matlab cuando se recibe un mensaje de riesgo alto de incendio en presencia de personas
Fuente: Elaboración propia

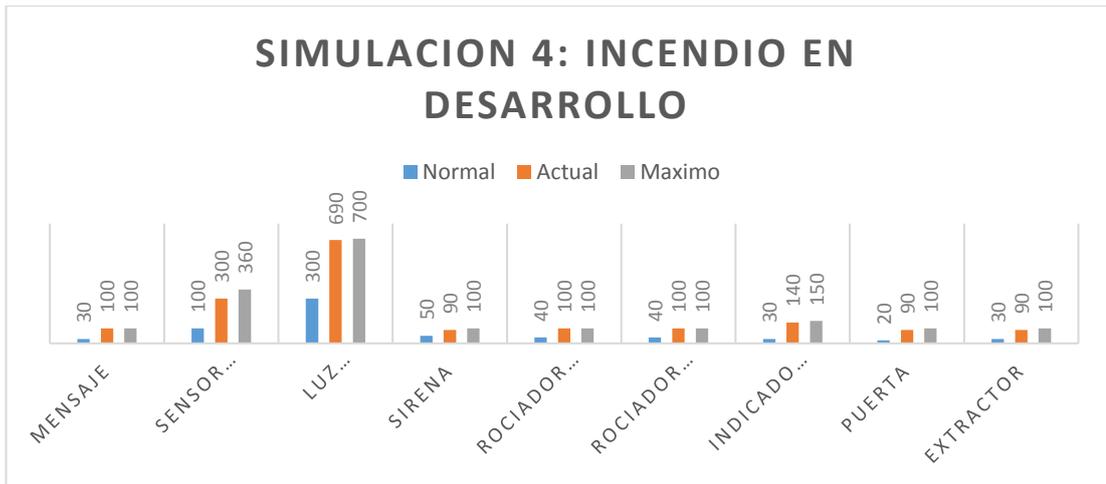


Figura 3.64. Diagrama en barras que indica que hay riesgo medio de incendio
Fuente: Elaboración propia

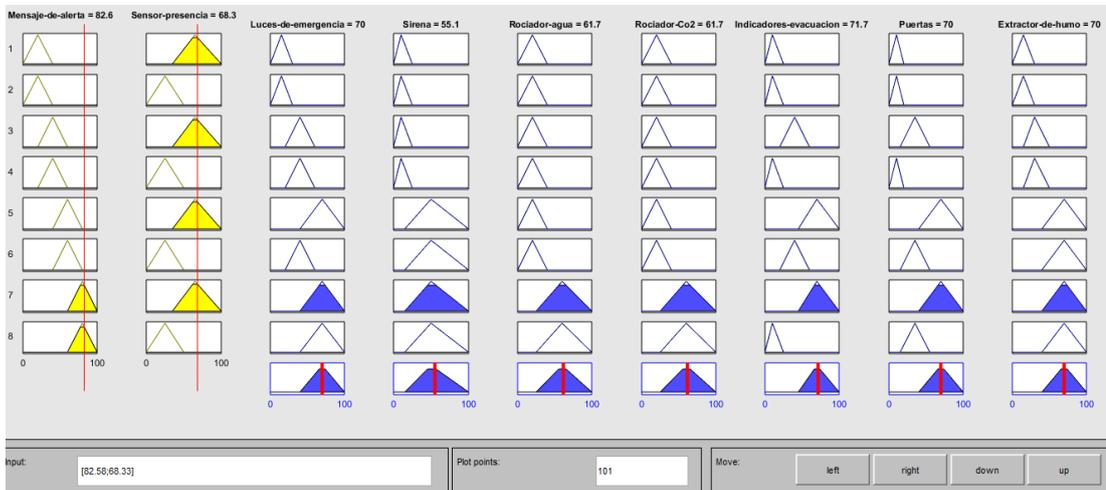


Figura 3.65. Simulación cuando se recibe un mensaje de incendio en desarrollo en presencia de personas
Fuente: Elaboración propia

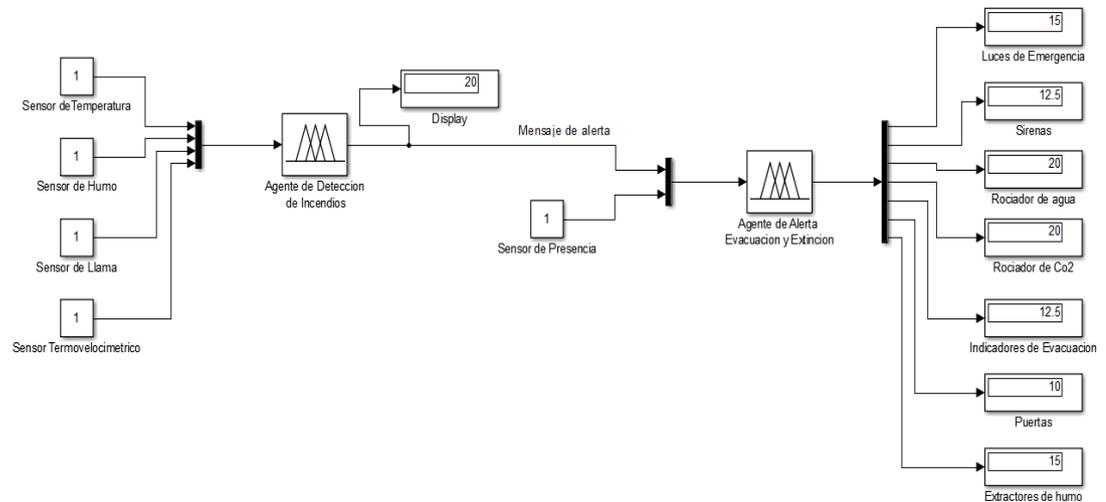


Figura 3.66. Modelo del sistema contra incendios elaborado en Simulink
Fuente: Elaboración propia

CAPITULO IV

PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se presentará de forma resumida los resultados alcanzados una vez que se concluyó con el trabajo de investigación, para lo cual, el capítulo se ha dividido dos secciones: La primera corresponde a la presentación de resultados en base al estado del arte, modelado y simulación, así como los resultados generales según la descripción, características y funciones del sistema, abordadas en el capítulo anterior. La segunda etapa corresponde a la discusión de dichos resultados, para lo cual se realizará un análisis basado en las características y funciones del sistema, tanto particulares como generales, de la metodología, hipótesis planteada, solución al problema y cumplimiento de objetivos, para finalmente terminar con la discusión final del trabajo.

4.1. Presentación de resultados del sistema contra incendios basado en agentes inteligentes

En esta sección se muestran los resultados obtenidos luego de haber diseñado los dos tipos diferentes de agentes que conforman el sistema contra incendios mediante diagramas U.M.L utilizando los pasos de la metodología MaSE y su posterior simulación mediante el software Matlab. Se describirán los resultados obtenidos en las diferentes instancias que fueron mencionadas en la presentación de este tema.

4.1.1. Resultados referentes al estado del arte

La elaboración del estado del arte ha sido con la finalidad de obtener información relevante sobre los avances más recientes acerca del desarrollo de sistemas multiagentes inteligentes utilizando métodos de modelado, simulación e implementación en microcontroladores de 32 bits, los cuales sean de gran ayuda para el desarrollo del presente trabajo investigativo. Cabe recalcar que la cantidad de información que se puede conseguir acerca de esta temática es escasa, sin embargo, los documentos

investigativos que se lograron recopilar permitieron abordar el tema de investigación planteado de manera satisfactoria, utilizando herramientas software y diversas metodologías para el desarrollo de este tipo de sistemas inteligentes.

Dentro de los trabajos investigativos que se tomaron como referencia, se encontraron resultados que ayudaron a orientar este trabajo, pero específicamente para microcontroladores no se encontró material relevante, pero de todas maneras el acopio de información relevante en torno al tema, permite afirmar que el estado de arte elaborado en este trabajo, es una fuente de información actualizada de los resultados más importantes relacionados al uso de agentes inteligentes para aplicaciones inmóticas, específicamente para un sistemas contraincendios. Dentro de los trabajos recopilados se obtuvieron herramientas que fueron de gran ayuda para la elaboración del trabajo, como las metodologías que pueden utilizarse para desarrollar agentes inteligentes utilizando diagramación U.M.L.

4.1.2. Resultados del modelado y simulación

Para el modelado del sistema contra incendios, en primer lugar ha sido necesario modelar los respectivos subsistemas que lo conforman, los cuales a su vez están representados por cada agente inteligente, en este caso el agente de detección y el agente de alerta, evacuación y extinción; para realizar esta tarea fue necesario utilizar herramientas de modelado UML. Para esta labor se realizaron los siguientes pasos:

- Se adaptó la metodología MaSE para el diseño de agentes inteligentes en microcontroladores, basándose en otros trabajos científicos.
- Se definió un sistemas contraincendios basado en microcontroladores y sensores/actuadores, que permita ser controlado y supervisado mediante sistema multiagentes.
- Se diseñó un sistema multiagentes aplicable a un sistema contra incendios, estableciendo una arquitectura y definiendo roles y tareas para cada uno de ellos, en función de los requerimientos del sistema inmótico.

- Se realizó el modelado de los agentes del sistema: agente de detección y agente de alerta, evacuación y extinción utilizando U.M.L, tal como se describe a continuación:
 - Se elaboraron diagramas de metas indicando los objetivos que cada agente debe de cumplir.
 - Se elaboraron diagramas de casos de uso en el cual se especifica los elementos que conformarían cada agente.
 - Se elaboraron diagramas de roles indicando las tareas que debían cumplir para alcanzar sus metas.
 - Se elaboraron diagramas de estados indicando de forma más detallada el funcionamiento de cada agente ante múltiples condiciones que se podían presentar.
 - Se elaboraron diagramas de clases indicando de forma más detallada la arquitectura de cada agente.
 - Se elaboraron diagramas de despliegue para mostrar el sistema final.

El siguiente paso fue la simulación del sistema, para lo cual, luego de realizar los modelos correspondientes de cada agente, se siguieron los siguientes pasos:

- Se establecieron las variables y parámetros, las reglas de inferencia de lógica borrosa para la fusificación del proceso.
- Se introdujeron las reglas de inferencia establecidas en el modelo de cada agente inteligente.
- Se simuló el sistema utilizando el software Matlab.

4.1.4. Resultados generales del sistema: descripción, características y funciones

Dentro del desarrollo del trabajo, se considera necesario realizar una descripción del sistema, así como también definir sus funciones y características fundamentales, ya que esto permite tener una idea más clara del modo de operación del sistema para posteriormente realizar el modelado y simulación del mismo.

En la descripción del sistema, se ha explicado que el lugar en el cual se pretende colocar el sistema basado en agentes inteligentes, que en este caso es un laboratorio universitario, corresponde a una representación, para lo cual se ha realizado un modelo en tercera dimensión, el cual permite visualizar dicho entorno; también se manifestó que el lugar está conformado por dos ambientes: la sala principal en la cual se encuentran maquinas, dispositivos eléctricos y/o electrónicos y demás implementos para el trabajo de los estudiantes, mientras que el área más pequeña sirve para realizar reuniones académicas y también para almacenar dispositivos más delicados. Dentro de la descripción del sistema, también se menciona que este está conformado por dos agentes diferentes: El agente de detección que tiene bajo su control los sensores de temperatura, llama, humo, fuego, termovelocimétrico para analizar constantemente el entorno; de igual manera el agente de alerta, evacuación y extinción que se encarga de accionar los actuadores como rociadores, alarmas, sirenas, extractores, según el tipo de emergencia que se presente. La conformación de cada agente se muestra en un pequeño diagrama adjunto en esa sección

Definir las características del sistema es de gran importancia ya que de esta manera se facilita la realización del modelado conforme se avance en el desarrollo del trabajo. Dentro de este punto se establecieron varias características fundamentales como: El sistema puede trabajar de manera automática y continua con o sin presencia de personas, dispone de sensores y actuadores analógicos y digitales de alta gama ya que las especificaciones técnicas de cada uno fueron analizadas detenidamente, y lo más importante es la escalabilidad del sistema lo cual permite ampliar funciones en caso de ser necesario. Todas estas características fueron tomadas en consideración mientras se modelaba el sistema.

Finalmente, definir las funciones del sistema permite verificar que este opera de manera correcta, según las especificaciones del usuario. Mediante la simulación del sistema basado en agentes a través de lógica difusa, se pudo constatar que ante una elevación en las variables de los sensores del agente de detección, este inmediatamente detecta la presencia de un siniestro y comunica el respectivo mensaje de alerta al agente de alerta, evacuación y

extinción, el cual luego de la recepción del mensaje y la verificación del sensor de presencia, activa los actuadores que considere necesarios y ejecuta los mecanismos de evacuación en caso de ser requeridos.

4.2. Discusión de resultados

En esta sección se realizará el análisis de los resultados que se han obtenido durante el desarrollo del trabajo de investigación, analizando las características y funciones del sistema, así como también el cumplimiento de los objetivos planteados, la verificación de la hipótesis, la solución del problema, para finalmente determinar la discusión final del trabajo realizado.

4.2.1. Análisis de las características del sistema

El modelado desarrollado permite que el sistema disponga de las características propuestas al inicio del capítulo, las cuales se analizan a continuación:

- El sistema no fue diseñado utilizando microcontroladores de 32 bits pero el estudio realizado en cuanto sensores y actuadores, así como el modelado realizado, permitirán que esta tarea sea más sencilla cuando se realice
- Los sensores de tipo analógico, de temperatura, llama, humo, termovelocimétrico envían información de la variable que está controlando al agente de detección para que este pueda ejecutar acciones en base a la información recibida, esto pudo ser evidenciado mientras se simulaba el sistema.
- El funcionamiento de actuadores tanto analógicos como digitales, como rociadores de agua y Co₂, luces de emergencia, sirenas, extractores de humo, también fue constatado en el simulado del sistema; como se sabe, el agente de alarma, evacuación y extinción, se encargará de activarlos cuando sea necesario.
- El sistema puede detectar emergencias a cualquier hora del día, con o sin presencia de personas en el laboratorio.
- La escalabilidad fue verificada en el desarrollo del modelado del sistema, ya que es posible agregar más agentes en caso de ser necesario.

- Es un sistema de bajo coste, ya que se realizó un análisis minucioso de los dispositivos sensores / actuadores que deben seleccionarse y muchos de ellos son a precios asequibles.
- También se pudo evidencia mediante la simulación que puede operar de manera automática, ya que mientras se variaban las lecturas de los sensores, el sistema respondía automáticamente.

4.2.2. Análisis de las funciones del sistema

En la caracterización del sistema se definieron varias funciones que sistema contra incendios debía de cumplir, de las cuales se puede analizar lo siguiente:

- La detección de la presencia de incendios, de forma confiable y eficaz se consiguió mediante la supervisión de los sensores dispuestos en diferentes áreas del laboratorio, lo cual se pudo comprobar mediante la simulación del agente de detección del sistema.
- Las acciones de alerta de la existencia de un incendio y su posterior comunicación a las personas que estén en el lugar, en el menor tiempo posible se consigue mediante el accionamiento de los actuadores destinados para esta tarea, como lo son las luces de emergencia y sirenas. Esto también se comprobó durante la simulación, constatando de que opera adecuadamente.
- La ejecución de los mecanismos de evacuación y extinción se realizaron mediante la apertura de puertas de emergencia y de la puerta principal, y mediante la puesta en marcha del sistema de extinción respectivamente. Al igual que en los casos anteriores, ambas tareas fueron simuladas y su funcionamiento en la presencia de un siniestro, fue la correcta, todo esto mediante el modelado previo.

4.2.3. Cumplimiento de los objetivos

En este apartado se describe el cumplimiento del objetivo general y los objetivos específicos, planteados al inicio del trabajo.

4.2.3.1. Objetivo General

En base al análisis realizado al finalizar el trabajo de investigación, se alcanzó el objetivo general, puesto que se logró analizar la arquitectura de un sistema multiagente distribuido a través de herramientas de modelado con U.M.L y lógica difusa utilizando los software mencionados en la sección anterior, con lo cual se pudo diseñar un sistema contra incendios aplicado a un laboratorio universitario.

4.2.3.2. Objetivos Específicos

Una vez detallado el cumplimiento del objetivo general, mediante el análisis realizado acerca de los objetivos específicos, se pudo concluir lo siguiente:

Se logró conocer los fundamentos de los sistemas multiagente distribuidos a través de una búsqueda bibliográfica de información, porque se obtuvo información de varios documentos analizados y que fueron previamente investigados.

Se pudo proponer una metodología para el diseño de sistemas multiagentes a través de una comparativa y evaluación de las metodologías existentes, porque se analizaron las ventajas y desventajas de cada metodología analizada y se llegó a la decisión de que MaSE es la que brinda la posibilidad de realizar una descripción más específica de cada agente inteligente.

Finalmente se consiguió evaluar el funcionamiento del sistema para determinar su correcto funcionamiento y sus posibilidades de fallo, porque a través del modelado y simulación del sistema, se corroboró su funcionamiento en óptimas condiciones.

4.2.4. Análisis de la metodología

Los objetivos planteados y que ya fueron analizados, fueron alcanzados por medio de la metodología utilizada a lo largo del trabajo de investigación. La investigación de tipo correlacional con un enfoque mixto (cuali- cuantitativo) permitió realizar la medición y el análisis de los datos obtenidos de la simulación efectuada para de esta manera poder determinar y describir las principales cualidades del sistema y realizar algún tipo de corrección en caso

de ser necesaria. Con respecto al método de investigación utilizado, la metodología bibliográfica fue el principal punto de partida para realizar el trabajo, ya que esta permitió obtener los fundamentos teóricos necesarios mediante una búsqueda exhaustiva de información en diferentes fuentes, trabajos e investigaciones ya realizadas; lo cual fue de gran ayuda para comparar las diferentes metodologías existentes acerca del desarrollo de agentes inteligentes, y así poder seleccionar la más conveniente, y también para conocer los fundamentos fundamentales sobre la teoría de agentes y multiagentes. Por otra parte, la metodología analítica permitió analizar los sistemas multiagentes inteligentes desde su estructura básica para poder determinar un modelo del sistema que funcione de acuerdo a las especificaciones planteadas.

4.2.5. Análisis de la hipótesis de investigación

La hipótesis de investigación planteaba que con el desarrollo de una metodología de modelado se reduce la dificultad de la implementación física del sistema y se garantiza la obtención de una alta eficiencia en su funcionamiento. Por lo tanto, luego de realizar el respectivo modelado y simulación del sistema contra incendios y corroborar su correcto funcionamiento tanto en sus etapas de detección, alerta, evacuación y extinción, se puede manifestar que el sistema se encuentra casi terminado, solo faltaría su implementación final en un microcontrolador; de esta manera se da por verdadera la hipótesis planteada al comienzo del trabajo.

4.2.6. Análisis de la solución del problema de investigación

Mediante la aplicación de los métodos y el tipo de investigación antes mencionado, se logró obtener herramientas para el diseño y desarrollo de sistemas multiagentes inteligentes que no solo son específicas para el área de la informática, como se había manifestado en el planteamiento del problema. De igual manera, mediante el modelado con U.M.L y la simulación del sistema aplicando métodos de lógica difusa, también se pudo constatar que los agentes funcionan de manera automática y sin necesidad de que un operador humano tenga que intervenir.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el presente capítulo se presentan las conclusiones y recomendaciones sobre el trabajo de investigación realizado, de igual manera se describe el trabajo futuro que se pretende realizar tomando como punto de partida lo que ya se ha realizado hasta el momento.

5.1. Conclusiones

Finalizado el trabajo de investigación y una vez presentado, analizado y discutido los resultados obtenidos, se ha podido llegar a las siguientes conclusiones:

- El modelado del sistema utilizando diagramas U.M.L permite describir y dar a conocer la estructura interna de cada agente y el funcionamiento de cada uno de forma individual y en conjunto, información que es importante tener clara antes de empezar la fase de simulación.
- A través de la metodología MaSE se puede desarrollar sistemas de agentes y multiagentes de manera detallada y sencilla, ya que dicha metodología divide la tarea en una fase de análisis y otra de diseño, permitiendo especificar las tareas del sistema, facilitando las tareas de modelado.
- La lógica difusa es una técnica de inteligencia artificial que permite solucionar fácilmente problemas complejos mediante la creación de las reglas de inferencia, se puede deducir el comportamiento de un sistema

tomando en cuenta las múltiples condiciones que se pueden producir, acercándolo a la vida real.

- Mediante el uso de agentes inteligentes se puede conseguir que un sistema funcione de manera autónoma, analizando el entorno en el que se encuentra y tomando decisiones según lo observado, esto gracias a que los agentes como tales tienen capacidad de aprendizaje, autonomía, razonamiento.
- La presencia de un sistema contra incendios en un laboratorio universitario, al igual que en muchos otros sectores, es de suma importancia ya que un incendio es un siniestro que puede presentarse sin previo aviso y siempre se busca salvaguardar la integridad de las personas y sus bienes mediante el uso de estos sistemas de prevención.

5.2. Recomendaciones

Durante del desarrollo del presente trabajo investigativo, se analizaron algunos puntos referentes al diseño, modelado, simulación del sistema, en base a esto se tienen las siguientes recomendaciones:

- Realizar un análisis comparativo de las metodologías existentes para el desarrollo de agentes inteligentes con la finalidad de conocer las características de cada una y así poder elegir la que se ajuste a las necesidades del sistema que se desarrollará.
- Antes de la selección de los sensores y actuadores que conformarán el sistema, se recomienda analizar sus especificaciones técnicas para determinar el modelo más ideal y que se ajuste a las necesidades del usuario.
- Analizar el espacio físico en el cual se implementará el sistema, para determinar la cantidad de sensores, actuadores, dispositivos indicadores y demás elementos que formarán parte del sistema contra incendios, así como también la cantidad necesaria y su ubicación dentro del laboratorio.

- Durante el diseño del sistema mediante modelado U.M.L, es recomendable modelar cada agente por separado, para determinar las características individuales de cada uno y predecir cómo será el comportamiento de cada uno al trabajar en conjunto.
- Determinar el funcionamiento y modo de operación de cada agente inteligente antes de proceder a realizar la simulación del sistema, ya que de esta manera se tendrá una idea clara desde el inicio de la eficiencia del mismo y se podrá corregir errores en caso de haberlos.

5.3. Trabajo futuro

En este trabajo de investigación, se desarrolló el modelado y posterior simulación de un sistema contra incendios basado en agentes inteligentes utilizando diagramación UML y lógica difusa, con lo cual se puede verificar el correcto funcionamiento de este sistema. Sin embargo, el trabajo no se pretende que quede en este punto, ya que el siguiente paso y que se lo deja como un trabajo futuro es la implementación real del sistema, utilizando el modelado desarrollado, las simulaciones, los sensores y actuadores propuestos, en este estudio, así como microcontroladores de 32 bits y autómatas programables para la solución de problemas en el área industrial.

Referencias Bibliografía

- Aguilar, J., et al. (2013). *Sistemas MultiAgentes y su aplicación en automatización industrial*. Mérida, Venezuela.
- Brown, G. (2016). *Discovering the STM32 Microcontroller*, Creative Commons.
- Callejas, M., Parada, L., y Alarcon, A. (2012). Modelado e implementación de un sistema multiagente para el diagnóstico de enfermedades de transmisión sexual. *Revista Entramado*, 8(1), 190-208.
- Camargo, J., Hernández, N. y Rodríguez, A. (2015). Sistema de transporte y embalaje utilizando robótica cooperativa basada en teoría de colonias de hormigas mediante plataforma Mindstorm de LEGO®. *Redes de Ingeniería*, 6(1), 60-71.
- Canedo, A., et al. "Multi-agent system for fast deployment of a guide robot in unknown environments". *Journal of Physical Agents*. Vol. 6, No. 1 (Jan. 2012). ISSN 1888-0258, pp. 31-41
- Castan, J., Ibarra, S., Laria, J., Guzmán, J., y Castan, E. (2014). Control de tráfico basado en agentes inteligentes. *Revista Polibits*, (50), 61-78.
- Cofem. (2016). Sensor A30XT. Recuperado de: http://www.cofem.com/wp-content/uploads/2014/11/DOCA30XC-MANUAL_MUL2.pdf
- Cruz, J. (2007). Sistema Multiagente de monitoreo aplicado a cuidados neonatales. (Tesis doctoral). Universidad Simón Bolívar, Venezuela.
- DeLoach, S. (2004). The MaSe Methodology. *Methodologies and Software Engineering for Agent Systems*, 11, 107-125.
- Gonzalez, D., y Postay, J. (2017). Aprendizaje autónomo en sistemas inteligentes, 35-39, Buenos Aires, Argentina. <http://hdl.handle.net/10915/61352>
- Gualotuña, T. (2016). Diseño de una plataforma de agentes para el control de servicios de video streaming móvil. (Tesis doctoral). Universidad de las palmas de gran canaria, España.
- Hidrobo, F., Aguilar, J., y Cerrada, M. (2007). A Methodology to Specify Multiagent Systems. *Agent and Multi-Agent Systems: Technologies and Applications*, 4496, 92-101.

- Hyacinth, N. (1996). Software Agents: An Overview. *Knowledge Engineering Review*, 1-42.
- Khanh, H., y Winikoff, M. (2004). Comparing Agent- Oriented Methodologies. ResearchGate. 78-93.
- Mancilla, L. (2008). ¿Que son los agentes inteligentes de software? , *Gaceta Ide@s CONCYTEC*, 3(31), 25-47.
- Martínez, F., y Giral, D. (2017). OpenRRArch: una arquitectura abierta, robusta y confiable para el control de robots autónomos. *Revista Tecnura*, 21(51), 96-104.
- Maxim Integrated. (2015). DS18B20. Recuperado de: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>
- MSSSI. (2017). Sistemas de agua contra incendios. Recuperado de: http://www.msssi.gob.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/agenBiologicos/pdfs/11_leg.pdf
- Ovalle, D., Jiménez Builes, J., y Acosta, G. (2014). Arquitectura de Ambiente Multi-Agente Robótico para la Navegación Colaborativa.
- Padgham, L., y Winikoff, M. (2005). Prometheus: A practical agent- oriented methodology. Idea Group Inc. 107-135.
- Pavon, J. (2006). Modelos y Arquitecturas de agentes inteligentes. [diapositiva]. Madrid: Departamento de Ingeniería del Software e Inteligencia Artificial, 39 diapositivas.
- RNDS. (2004). Sistemas contra incendios. *Negocios de Seguridad*, 14, 56-72.
- Russell, S., y Norving, P. (2008). *Inteligencia Artificial un enfoque moderno*. Madrid, España, Pearson.
- System Sensor. (2006). Detector de humo ECO1000. Recuperado de: <http://www.systemsensor.ca/es/docs/conv/data/ECO1000/ECO1003-SP.pdf>
- UBA. (2011). Modulo instalaciones contra incendios a base de rociadores automáticos. [diapositiva]. Buenos Aires, 166 diapositivas
- Villavicencio, M. (2016). Prototipo de un sistema multiagente para la automatización de un invernadero. (Tesis de grado). Universidad nacional de Loja, Ecuador. <http://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/10949>

Vlassis, N., (2008). *A Concise Introduction to Multiagent Systems and Distributed Artificial Intelligence*, Greece: Morgan and Claypool Publishers.

Wooldridge, M., Jennings, N., y Kinny, D. (2000). The Gaia methodology for agent- oriented analysis and design. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 3, 285-312.

Yiu, J. (2010). *The definitive guide to the ARM Cortex-M3*. Oxford, England, Newnes.

Referencias de páginas web

Artser. (2018). Señales de emergencia y evacuación. Recuperado de: <http://art-ser.es/es/productos/senales-de-emergencia-y-evacuacion>

Biosys. (2018). Pulsadores de emergencia. Recuperado de: <http://www.biosys.es/productos/pulsadores-de-emergencia/>

Cablematic. (2018). Sirena para alarma. Recuperado de: <http://www.cablematic.es/Sirena-para-alarma/>

Eivar. (2018). Sistemas de extinción de incendios. Recuperado de: <http://www.eivar.com/productos-para-proteccion-contraincendios/sistemas-de-extincion-de-incendios/>

IEE, (2018). The foundation for intelligent physical agents. Recuperado de: <http://www.fipa.org/>

Inventable. (2015). Conexión de luces de emergencia. Recuperado de: <https://www.inventable.eu/2015/05/15/usar-una-bateria-como-tampon/>

Serviluz. (2015). Sensor de presencia. Recuperado de: <https://www.serviluz.com/detectores-de-movimiento-pir-c-56/detector-de-movimiento-empotrable-en-techo-sensor-de-360-p-371.html>

Sodeca. (2012). Extractores para la evacuación de humos. Recuperado de: http://sodeca.com/upload/imgcatalogos/es/ct03_400c_2012es.pdf

Syscom. (2016). Conexión de una sirena de alarma. Recuperado de: <http://foro.syscom.mx/index.php?p=/discussion/17241/conexion-alarma-honeywell-con-sirena-exterior-cableada>



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Triviño Corral, Raúl Alejandro**, con C.C: # **093200585-3** autor/a del trabajo de titulación: **Estudio de un sistema multiagente inteligente basado en microcontroladores de 32 bits aplicado a un sistema contraincendios para un laboratorio universitario** 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, **13 de marzo de 2018**

f. _____

Nombre: **Triviño Corral, Raúl Alejandro**

C.C: **093200585-3**



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TEMA Y SUBTEMA:	Estudio de un sistema multiagente inteligente basado en microcontroladores de 32 bits aplicado a un sistema contraincendios para un laboratorio universitario		
AUTOR(ES)	Triviño Corral, Raúl Alejandro		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Córdova Rivadeneira, Luis Silvio		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería Electrónica en Control y Automatismo		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero Electrónico en Control y Automatismo		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	13 de marzo de 2018	No. DE PÁGINAS:	121
ÁREAS TEMÁTICAS:	Automatización, Inteligencia Artificial, Inmótica		
PALABRAS CLAVES/KEYWORDS:	MaSE, AgentTool, UML, agentes inteligentes, sistemas contra incendios, lógica difusa, Matlab y Simulink.		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):			
<p>El presente trabajo de titulación está orientado al análisis, modelado y simulación de un sistema multiagente inteligente (MAS) aplicado a un sistema contra incendios ubicado en un laboratorio universitario, en el cual se ha adaptado las metodologías existentes de desarrollo de agentes, debido a que estas técnicas son mayormente aplicadas para la resolución de problemas en sistemas informáticos. Esto se logró mediante la selección de la Metodología MaSE como punto de partida para el desarrollo de cada agente de manera individual. Se ha utilizado el método de investigación bibliográfico y analítico, los cuales permitieron recopilar información sobre los fundamentos principales de la teoría de agentes y analizar su estructura básica. Como resultados se realizó el modelado del sistema utilizando AgentTool, software que brinda soporte mediante diagramación UML para el diseño de cada agente, y posteriormente se simuló dicho sistema utilizando lógica difusa mediante Matlab y Simulink, lo cual permitió verificar su correcto funcionamiento en base a las condiciones iniciales establecidas. La elaboración de este trabajo permitió comprobar que el uso de agentes inteligentes le brinda mayor autonomía a cualquier tipo de sistema en el que se aplique, haciendo que este opere de manera automática, eficiente y principalmente permitiendo que se ajuste a los cambios que pueden producirse en el entorno en el cual se encuentre.</p>			
ADJUNTO PDF:	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593992644627	E-mail: ale-jito-1994@hotmail.es	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::	Nombre: Mendoza Merchán, Eduardo Vicente		
	Teléfono: +593985086815		
	E-mail: eduardo.mendoza@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):			