



**DISEÑO DE SISTEMA DE DETECCIÓN Y ALARMA DE INCENDIOS CON
LÓGICA DIFUSA PARA DETERMINACIÓN DE RUTAS DE EVACUACIÓN Y
ACTIVACIÓN DE SISTEMAS DE ROCIADORES EN EDIFICIO**

EDINSON ARMANDO ARÉVALO MONROY

**Universidad de Pamplona
Facultad de Ingeniería y Arquitectura
Maestría en Controles Industriales
Pamplona, Colombia
2020**

**DISEÑO DE SISTEMA DE DETECCIÓN Y ALARMA DE INCENDIOS CON
LÓGICA DIFUSA PARA DETERMINACIÓN DE RUTAS DE EVACUACIÓN Y
ACTIVACIÓN DE SISTEMAS DE ROCIADORES EN EDIFICIO**

EDINSON ARMANDO ARÉVALO MONROY

Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de:
Magister en Controles Industriales

Director:

Aldo Pardo García

Doctor en Complejos Eléctricos y Electrotécnicos

Codirector:

Edison Andrés Caicedo Peñaranda

Master en Controles Industriales

Universidad de Pamplona

Facultad de Ingeniería y Arquitectura, departamento EEST

Maestría en Controles Industriales

Pamplona, Colombia

2020

Dedicatoria

A mis Padres que siempre me alentaron para seguir adelante y no desistir cuando todo se veía difícil

A mis amigos de toda la vida quienes siempre han estado en momentos oscuros apoyándome cuando más los he necesitado

A los docentes que intervinieron en mi formación académica.

A ustedes dedico este logro.

“Muchas cosas son improbables, solo unas pocas son imposibles.”

Elon Musk

Agradecimiento:

A mis mentores y amigos de trabajo quienes aportaron su grano de arena de manera colaborativa en este trabajo y proyecto, gracias por cada palabra de aliento e impulso para no desistir.

A mi Director y codirector por los conocimientos aportados durante la elaboración de este proyecto y apoyo durante su desarrollo, a ustedes les debo este logro.

Resumen:

El presente trabajo describe el diseño de un sistema de detección y alarma de incendios para una edificación educativa fundamentado en la NFPA 72 aplicado mediante la inferencia de incendio empleando sensores de humo y lógica difusa, que adicionalmente determina las rutas de evacuación ante una diversidad de eventos probables de incendio basados en un escenario real y los diferentes eventos estimados basados en los riesgos de cada área contemplada. Así mismo el sistema cuenta con la capacidad de realizar acciones de control sobre un subsistema definido para la simulación de la extinción de incendio en el área objeto de la protección. Todo lo anterior esta comandado desde una interfaz general tipo HMI donde se podrá encontrar la totalidad de los instrumentos en una pantalla con la capacidad de simular la activación y pruebas de la instrumentación indicada.

Palabras clave: Detección y alarma, lógica difusa, sistema, extinción.

Abstract:

This work describes the design of a fire detection and alarm system for an educational building based on NFPA 72 applied by means of fire inference using smoke sensors and fuzzy logic, which additionally determines the evacuation routes in the event of a variety of events. Probable base based on a real scenario and the different estimated events based on the risks of each contemplated area. Likewise, the system has the ability to perform control actions on a defined subsystem for the simulation of fire extinguishing in the area under protection. All the above is commanded from a general HMI-type interface where all the instruments can be found on a screen with the ability to simulate the activation and tests of the indicated instrumentation.

Keywords: Detection and alarm, fuzzy logic, system, extinction.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN:.....	5
LISTA DE FIGURAS	10
LISTA DE TABLAS	13
INTRODUCCIÓN.....	14
PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN.....	18
1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	22
1.1. MARCO TEÓRICO.....	22
1.1.1. CONCEPTOS DE DETECCIÓN DE INCENDIOS.....	22
1.1.2. COMUNICACIONES INDUSTRIALES EN LOS PANELES DE INCENDIO ..	25
1.1.2.1. COMUNICACIÓN SERIAL RS-232.....	25
1.1.2.2. COMUNICACIÓN RS-485	26
1.1.2.3. COMUNICACIÓN MODBUS-TCP/IP	26
1.1.3. LOGICA DIFUSA.....	27
1.1.3.1. SISTEMAS MISO	28
1.1.3.2. FUNCIÓN DE MEMBRESÍA	29
1.1.3.3. TIPOS DE CONJUNTOS DIFUSOS.	29
1.1.3.4. FUSIFICACIÓN	30
1.1.3.5. DEFUSIFICACIÓN	31
1.1.3.6. TOMA DE DECISIONES	31
1.1.3.7. INFERENCIA DE MAMDANI	32
1.1.3.8. INFERENCIA DE TAKAGI-SUGENO-KANG (TSK)	33
2. DISEÑO DEL SISTEMA DE DETECCIÓN Y ALARMA	35
2.1. ÁREAS DE INCENDIO Y/O EXPLOSIÓN (AIE) DEL PISO 1 DEL EDIFICIO SIMÓN BOLÍVAR.....	35
2.1.1. CONTROLADOR.....	36
2.1.2. DETECCIÓN POR HUMO	39
2.1.3. DETECCIÓN DE TEMPERATURA.....	41
2.1.4. DETECTOR DE GAS	42
2.1.5. DETECCIÓN MANUAL.....	43
2.2. FILOSOFIA DE NOTIFICACIÓN DE ALARMA POR FUEGO Y GAS.	43
2.2.1. NOTIFICACIÓN SONORA Y VISUAL.....	44
2.3. AUDIOEVACUACIÓN	45
2.3.1. ESTRUCTURA DE MENSAJES DE AUDIOEVACUACIÓN	46
2.4. ESTADOS DE ALARMA, FALLA, NORMAL DEL SISTEMA DE DETECCIÓN Y ALARMA.	48

2.4.1.	ESTADO DE ESPERA.....	49
2.4.2.	ESTADO DE ALARMA GENERAL	49
2.4.3.	ESTADO DE ALARMA POR HUMO/CALOR.....	49
2.4.4.	ESTADO DE PRE-ALARMA POR DETECCIÓN DE GAS	49
2.4.5.	ESTADO DE ALARMA POR DETECCIÓN DE GAS.....	50
2.4.6.	ESTADO DE ACTIVACIÓN DEL SISTEMA DE EXTINCIÓN DE INCENDIOS.....	50
2.4.7.	ESTADO DE FALLA	50
2.4.8.	TIPOS DE SEÑALES A EMPLEAR	51
3.	DISEÑO DEL SISTEMA DE EXTINCIÓN.....	52
3.1.	SISTEMA DE EXTINCIÓN Y CONTROL A BASE DE AGUA	52
3.1.1.	ESTRATEGIAS DE PROTECCIÓN	53
3.1.2.	ESPECIFICACIÓN DEL SISTEMA DE EXTINCIÓN	54
3.1.3.	FILOSOFÍA DE OPERACIÓN DEL SISTEMA DE EXTINCIÓN CON AGUA. 55	
4.	MATRIZ CAUSA EFECTO	58
4.1.	SALA DE INFORMATICA SB-106, GIBUP SB-110, CISCO SB-111	58
4.2.	TALLERES SB-112/114	59
4.3.	HALL RECEPCIÓN, SB-102/109/115.....	60
4.4.	LABORAROTARIOS SB-103/105 DEPOSITO SB-104, AULAS SB107/108	62
4.5.	SELECCIÓN DE LOS MENSAJES DE EVACUACIÓN	63
5.	CAPITULO DISEÑO DE LA LÓGICA DIFUSA	68
5.1.	SISTEMAS DIFUSOS EN LAS AULAS SB – 106/110/111	68
5.1.1.	SISTEMA DIFUSO DE MÚLTIPLES ENTRADAS Y DE SALIDA ÚNICA (SISTEMA MISO).....	69
6.	CAPITULO DISEÑO DE LA INTERFAZ	79
6.1.	DESPLIEGUE GENERAL OVERVIEW - DETECCIÓN.....	79
6.1.1.	NOMBRAMIENTO DE INSTRUMENTOS.....	80
6.2.	DESPLIEGUE GENERAL OVERVIEW - EXTINCIÓN.	80
6.3.	DESPLIEGUE PANEL DE INSTRUMENTOS.....	81
6.3.1.	INSTRUMENTOS CON LÓGICA DIFUSA MISO DHU.	81
6.3.2.	INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN DE GASES DG	86
6.3.3.	INTRUMENTOS DE MONITOREO DIGITALES	89
6.3.4.	ACTIVACIONES EN MÚLTIPLES ÁREAS	94
6.3.5.	FUNCIÓN PARA LOS MENSAJES DE AUDIO EVACUACIÓN	96
6.3.6.	BOTONES DE MANTENIMIENTO	97

6.3.7. BOTÓN DE RESET	98
CONCLUSIONES	100
BIBLIOGRAFÍA.....	101

Lista de figuras

<i>Figura 1. Arquitectura de control.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 2. Modelo de Control Difuso de múltiples entradas y única salida MISO.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 3. Ejemplo de función de membresía. [22].....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 4. Tipos de conjunto difusos. [22].....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 5. Sistema de inferencia difuso [24]</i>	<i>32</i>
<i>Figura 6. Representación de los valores de entrada y salida en TSK. [27].....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 7. Controlador de incendios</i>	<i>37</i>
<i>Figura 8. Ejemplo de topologías posibles para implementar.</i>	<i>38</i>
<i>Figura 9. Detector de humo fotoeléctrico con salida 4-20mA</i>	<i>39</i>
<i>Figura 10. Detector de humo fotoeléctrico convencional (a) y Simbología NFPA detector de humo fotoeléctrico (b)</i>	<i>40</i>
<i>Figura 11. Radio de cobertura detectores de humo</i>	<i>41</i>
<i>Figura 12. Detector térmico convencional (a) y Simbología NFPA detector de térmico (b)</i>	<i>41</i>
<i>Figura 13. Detector térmico lineal (a) y Simbología NFPA detector de térmico lineal (b)..</i>	<i>42</i>
<i>Figura 14. Detector de gases inflamables (a) Simbología NFPA Detector de gases inflamables (b)</i>	<i>43</i>
<i>Figura 15. Estación manual de alarma (a) y Simbología NFPA Estación manual de alarma (b).....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 16. Patrón de sonido de alarma de evacuación.</i>	<i>45</i>
<i>Figura 17. Parlante con luz estrobo (a) Simbología NFPA Parlante con Luz Estrobo</i>	<i>45</i>
<i>Figura 18. Sistema de detección y alarma Simón Bolívar</i>	<i>46</i>
<i>Figura 19. Rociadores abiertos de montaje.....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 20. Distribución de áreas de riesgo según salidas</i>	<i>56</i>
<i>Figura 21. Distribución de Manifold de Válvulas y Rociadores</i>	<i>57</i>
<i>Figura 22. Detección de humos en SB-110/111.....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 23. Detección de humos en SB-106.....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 24. Sistema de extinción en SB-110/111</i>	<i>59</i>
<i>Figura 25. Sistema de extinción en SB-106</i>	<i>59</i>
<i>Figura 26. Sistema de detección en talleres de mecánica SB-112/114.....</i>	<i>60</i>

<i>Figura 27. Sistema de extinción SB-112/114</i>	<i>60</i>
<i>Figura 28. Sistema de detección SB-102/109/115</i>	<i>61</i>
<i>Figura 29. Sistema de extinción SB-102/109/115</i>	<i>61</i>
<i>Figura 30. Sistema de detección SB-103/104/105/107/108</i>	<i>62</i>
<i>Figura 31. Sistema de extinción SB-103/105 y pasillo.....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 32. Estructura de un sistema de lógica difusa</i>	<i>68</i>
<i>Figura 33. Estructura de un sistema difuso</i>	<i>69</i>
<i>Figura 34. Equipos de detección y alarma en SB-110/111.....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 35. Sistema de extinción SB-110/111</i>	<i>70</i>
<i>Figura 36. Inclusión de reglas en el editor del Fuzzy Control</i>	<i>72</i>
<i>Figura 37. Definición valores de las membrecías del sistema en MatLab</i>	<i>73</i>
<i>Figura 38. Visor de reglas en Matlab</i>	<i>73</i>
<i>Figura 39. Curvas de correlación entre estados de tres detectores analógicos.....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 40. Salidas del sistema MISO</i>	<i>75</i>
<i>Figura 41. Ingreso a la toolbox de Fuzzy System Designer en Labview.....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 42. Inclusión de reglas en el Fuzzy System Designer de LabView.....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 43. Definición valores de las membrecías del sistema en LabView (a)(b)(c)</i>	<i>77</i>
<i>Figura 44. Entradas vs Salida del sistema MISO para tres detectores.....</i>	<i>78</i>
<i>Figura 45. Pantalla principal del HMI Detección.....</i>	<i>79</i>
<i>Figura 46. Pantalla principal del HMI Extinción</i>	<i>80</i>
<i>Figura 47. Panel de instrumentos</i>	<i>81</i>
<i>Figura 48. Instrumentos configurados con lógica Difusa</i>	<i>81</i>
<i>Figura 49. Diagrama en bloques para el cambio del color en los detectores de humo analógicos</i>	<i>82</i>
<i>Figura 50. Función para parpadeo de los LED ante un evento</i>	<i>83</i>
<i>Figura 51. Instrumentos en falla.....</i>	<i>83</i>
<i>Figura 52. Instrumentos en falla en overview de detección</i>	<i>83</i>
<i>Figura 53. Instrumentos en estado de detección medio</i>	<i>84</i>
<i>Figura 54. Dispositivos en estado medio de detección y mensaje de audio evacuación. .</i>	<i>84</i>
<i>Figura 55. Activación del sistema de extinción con dos o más señales en estado medio.</i>	<i>85</i>
<i>Figura 56. Múltiples instrumentos activos en múltiples áreas.</i>	<i>85</i>
<i>Figura 57. Múltiples activaciones por estado alto.</i>	<i>86</i>

<i>Figura 58. Bloque para cambio de color en indicadores de los detectores de gas</i>	<i>87</i>
<i>Figura 59. Activación detector de gas y sistema de audio evacuación</i>	<i>87</i>
<i>Figura 60. Detectores de gas en estado normal medición baja</i>	<i>88</i>
<i>Figura 61. Detector en rango de medición "medio"</i>	<i>88</i>
<i>Figura 62. Detector de gas Activo</i>	<i>88</i>
<i>Figura 63. Detección de gas y activación sistema de audio evacuación.</i>	<i>89</i>
<i>Figura 64. Detectores térmicos puntuales y lineales</i>	<i>90</i>
<i>Figura 65. Activación instrumentos detección temperatura</i>	<i>90</i>
<i>Figura 66. Detector térmico activado</i>	<i>91</i>
<i>Figura 67. Activación sistema de extinción</i>	<i>91</i>
<i>Figura 68. Instrumentos de detección de humo</i>	<i>92</i>
<i>Figura 69. Activación detector de humo puntual.</i>	<i>93</i>
<i>Figura 70. Activación Estación manual EMA-003 y red de rociadores de Válvula de diluvio 005</i>	<i>94</i>
<i>Figura 71. Activación estación manual de alarma y sistema de audio-evacuación.....</i>	<i>94</i>
<i>Figura 72. Activación de múltiples riesgos</i>	<i>95</i>
<i>Figura 73. Overview detección múltiples dispositivos activos.....</i>	<i>95</i>
<i>Figura 74. Overview extinción múltiples activaciones.....</i>	<i>96</i>
<i>Figura 75. Bloques para el control de los mensajes de audio-evacuación</i>	<i>96</i>
<i>Figura 76. Válvula de diluvio VDL-001 en mantenimiento</i>	<i>97</i>
<i>Figura 77. Botonera de mantenimiento en válvula y speakers/strobe</i>	<i>97</i>
<i>Figura 78. Sistema de detección y audio evacuación en funcionamiento durante By-Pass Válvula de diluvio VDL-001</i>	<i>98</i>
<i>Figura 79 Botón "reset" general del sistema.</i>	<i>98</i>
<i>Figura 80. Diagrama general de la interfaz de simulación del HMI en LabVlew</i>	<i>99</i>

Lista de tablas

<i>Tabla 1. Matriz de Mamdani.....</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 2. Matriz de Áreas de incendio incluidas en el alcance del proyecto</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 3. Zonas de evacuación</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 4. Mensajes de audio evacuación</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 5. Señales requeridas en el sistema</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 6. Delimitación de áreas con sus protecciones.....</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 7. Lógica de selección mensajes audio-evacuación</i>	<i>63</i>
<i>Tabla 8. Matriz causa efecto general del sistema</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 9. Combinación de las 27 reglas obtenidas</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 10. Equipos y designación de TAG's.....</i>	<i>80</i>
<i>Tabla 11. Combinación de colores</i>	<i>82</i>

Introducción

Los sistemas de detección, alarma y extinción de incendios son una inversión obligatoria ya que este previene, mitiga y disminuye el impacto generado por un posible evento de incendio permitiendo actuar de manera oportuna [10], que ayuda a la preservación de bienes y vidas humanas, normado y regulado en Colombia y en el mundo, e inclusive estos sistemas son necesarios para el funcionamiento legal de las empresas ante las empresas aseguradoras [6].

Estos sistemas deben ser especialmente diseñado para los casos con alta aglomeración de personal determinando así la urgencia de implementación de estos sistemas en complejos residenciales, educativos y comerciales que actualmente se encuentran desprotegidos en gran parte de las zonas del país por los vacíos en la legislación local que regula la protección de las edificaciones [11].

Donde la necesidad de políticas de protección y prevención de incendios ayudan a la creación de la iniciativa llamada NFPA (National Fire Protection Association) para regular y clasificar los riesgos según el tipo, ambiente, uso, e industria a la que estos pertenezca [1]. Por lo cual la NFPA sirve como referencia en conjunto con la “Norma Técnica Colombiana” NTC que ha implementado diversas soluciones en sistemas de protección y mitigación de incendios de acuerdo con sus estándares y recomendaciones según el campo de aplicación y las tecnologías vigentes aprobadas [4].

Es de tener en cuenta que estos criterios de diseño son recomendaciones basadas en estudios y experiencias, por lo cual la regulación es permisiva en la variación de los sistemas de acuerdo a las áreas a proteger principalmente en la utilización de la tecnología y la metodología empleada para la filosofía del sistema de protección contra incendios donde estos dependen de la aplicación [6], siendo los sensores de humo los de mayor utilización [34].

También existe la posibilidad de crear sistemas mixtos de detección, alarma de incendios y funciones adicionales enfocadas en mejorar la respuesta de la emergencia [13], uno de ellos es la información de un evento de incendio permitiendo la atención oportuna de la emergencia [20][29], otra propuesta es la combinación de sensores que determinen la existencia de personal en condición de alarma permitiendo realizar una señal que indique la necesidad de realizar una evacuación oportuna [20].

En este marco de funciones adicionales se tienen propuestas de incorporar microcontroladores para asumir la función del panel de control principal e inclusive contar con un sistema de monitoreo inalámbrico [16] y conectado a un PC en la cual se puede gestionar una base de datos donde se muestran los históricos de

incidentes, este sistema se desarrolló en microcontroladores de la serie 80C31 [20], donde estas tecnologías abarcan el campo industrial y residencial [31].

Pero estos sistemas son funcionales en la medida que actúen ante la confirmación temprana de un incendio, por lo cual se plantea la incorporación de métodos de inferencia que utilizan una combinación de instrumentación en sistemas llamados multisensoriales como sensores de humo y calor [4], permitiendo a partir de dos variables diferentes validar la posibilidad de ocurrencia de incendio por métodos como redes neuronales [21] y lógica difusa [4].

La combinación del sistema multisensorial y notificación se ha desarrollado a nivel académico con elementos no avalados por la NFPA empleando lógica difusa y una placa de desarrollo Arduino con entradas de un sensor de humo MQ2, un sensor de temperatura TMP102 y un sensor de llama DFRobot.[34] con sistemas que incorporan servicio de mensajes cortos (SMS) [20][29] e inclusive comunicación con el equipo de bomberos [34].

Un planteamiento cercano a la regulación es la necesidad de crear sistemas de detección complementados con sistemas de extinción de incendios, donde algunos autores integran acciones adicionales basados en SFF (Safe From Fire) en donde se emplean microcontroladores y múltiples sensores de diferentes tecnologías combinados con lógica difusa para la evaluación de la gravedad de los incendios incorporando también la capacidad de notificar a bomberos mientras libera los sistemas de extinción y realiza la apertura de los circuitos eléctricos para minimizar la posibilidad de propagación [36].

También en los sistemas de detección se ha empleado recientemente el procesamiento de imágenes empleando videocámaras y métodos como el de segmentación para logra la extracción de áreas de mayor dinámica según los pixeles en ciertas ubicaciones de la imagen las cuales posteriormente se procesan para validar si existen cambios de densidad en los pixeles [5], esta aplicación se ha empleado en la detección temprana de un incendios forestales empleando redes neuronales artificiales o incluso lógica difusa para separar las características espectrales del fuego [25],[35], donde este método se está probando en la identificar el humo previo al fuego con la incorporación de lógica difusa para la inferencia de las características que hagan parte del evento de incendio o las fases tempranas del mismo, esta aplicación se ha considerado para aplicaciones militares y civiles [38].

Los sistemas de monitoreo toman mayor relevancia en dependencia del nivel de riesgo siendo este determinante en aplicaciones con la posibilidad de pérdidas humanas y de materia prima de manera masiva, en el campo de la minería se plantea la necesidad de realizar una detección temprana y para ello se plantea la utilización de lógica difusa [33], este tipo de redes inalámbricas para sensores subterráneos, logrando fortalecer la toma de decisiones para prevenir conflagraciones dentro de las minas, estos autores se enfrentaron a tener que

resolver problemas de memoria debido a la basta cantidad de reglas difusas, por lo cual implementan un algoritmo de optimización de enjambre de partículas binarias (BPSO) con lo cual se optimiza eliminando las reglas redundantes manteniendo la precisión al momento de detectar eventos a través del instrumento de monitoreo, a través de este método se logra superar al sistema de monitoreo convencional empleado en las minas de carbón subterráneas. [33]

Otro campo de estudio es llevar los sistemas de detección y alarma de incendio para la industria automotriz en los autos de pequeño y mediano tamaño, abordado con lógica difusa empleando el micro controlador Arduino, para ello se emplean sensores de llama, sensores de temperatura, sensores de humo y una unidad de aire acondicionado móvil de dióxido de carbono detectando y extinguendo el fuego de forma oportuna [39].

Según los trabajos analizados es posible determinar que la lógica difusa es un método apropiado determinar el inicio de un incendio en etapa temprana, pero requiere de un sistema multisensorial, pero este debe estar ajustan a lo regulado por la NFPA, donde muchos de los trabajos analizados no han llegado a esta etapa, impidiendo su aplicación desde el punto de vista normativo, complementado con la utilización de microcontroladores que tampoco son abalados para aplicaciones industriales creando la discusión de la fiabilidad de estos sistemas [1].

Este trabajo está desarrollado en seis (6) capítulos los cuales están distribuidos para explicar de manera concreta los pasos llevados a cabo para la elaboración del proyecto mencionado anteriormente.

Los capítulos 1, 2 y 3 se encuentran enfocados en la fundamentación teórica y la metodología adoptada para el desarrollo del diseño de los sistemas, en ellos se hace uso de la normativa aplicable y los conceptos básicos basados en la NFPA (National Fire Protection Association) necesarios para comprender de manera sencilla el principio y necesidad de este proyecto, en la metodología resentada se aborda un paso a paso para llegar a un modelo simulado de un sistema de audio evacuación y extinción de incendios a partir de la instrumentación de detección en un riesgo real.

En el capítulo cuatro (4) se encuentra un breve recuento de la obtención de la matriz de identificación de causas y efectos que obtenida por la experiencia del diseñador en el campo del contra incendio según la NFPA.

El capítulo cinco (5) abarca el diseño de la lógica difusa a emplear en el sistema para las áreas que lo requieren, en él se demarcan las reglas para inferir el estado de alarma a partir de un modelo MISO (múltiples entradas única salida), así pues mediante la creación de conjuntos difusos a partir de los detectores seleccionados se puede definir una acción de control para las salidas del sistema de extinción y de audio evacuación.

En el sexto (6) capítulo se describe la interfaz desarrollada para el proyecto y la forma en la que opera a razón y concordancia de la Matriz Causa – Efecto vista en el capítulo 4, añadiendo criterios adicionales para hacer más amigable e intuitivo este HMI.

Problema y justificación

Los eventos de incendio son una de las mayores causas de pérdidas materiales y humanas dentro de las razones más comunes de catástrofes en las industrias, hogares y/o edificios administrativos, desde un mal cableado que genere sobrecalentamiento hasta fugas de gas en recintos como cocinas son de las razones habituales que pueden generar conflagraciones [3].

Actualmente los sistemas basados en microprocesador conocidos como tableros de incendio inteligentes o aquellos que están basados en PLC, únicamente cuentan con la disposición de tomar decisiones basadas en una lógica condicional (if, and, not, or, etc) o discreta tipo ON / OFF en la cual se toma la acción de activación de alarmas y/o salidas a 24 VDC tipo contacto secos en puertas o sistemas de extinción [20].

Las edificaciones residenciales y académicas deben utilizar los sistemas de detección y alarma de incendios donde existen dos tipos de aplicaciones la primera por fuera de la regulación internacional donde los sistemas empleados carecen fiabilidad [39]. El segundo escenario es empleando los aspectos normativos de la regulación donde de forma similar la instrumentación para sistemas de detección puede ser activados por múltiples agentes externos que no son propiamente un incendio [40].

Es primordial que un sistema de detección y alarma se encuentre en operación constante debido a los múltiples factores que se deben supervisar dentro del riesgo objeto de la detección, como son edificaciones hospitalarias y académicas [16].

Lo más común es proteger este tipo de instalaciones con equipos menores como son detectores autónomos a base de baterías sin ningún grado de aprobación por entidades regulatorias apropiadas y con baja tolerancia a fallas y alarmas indeseadas [22].

Teniendo en cuenta la necesidad de buscar técnicas alternativas que sirvan para catalogar los estados iniciales de una conflagración se hace necesario la aplicación de diferentes métodos y tecnologías que posibiliten un sistema de mayor robustez infiriendo así en fases tempranas de incendio la posibilidad de tomar medidas previas a la presencia de fuego en su etapa más temprana [31][23].

Actualmente se emplean varias tecnologías para el reconocimiento de incendios en sus fases tempranas, uno de los más comunes son los paneles de incendio basados en microprocesador de tipo convencional, estos no cuentan con una capacidad para determinar efectivamente la zona que se encuentra en una posible emergencia siendo difícil identificar el punto focal del evento [24][36].

Otra tecnología es la llamada direccionable que cuenta con la posibilidad de determinar la ubicación de los eventos de incendio por humo, temperatura, gas, etc en algunas fases tempranas, estos cuentan con la particularidad de poder determinar mediante direcciones electrónicas en los dispositivos su ubicación física, esta ubicación es interpretada por el controlador inteligente o direccionable indicando el sitio en el cual se presenta un evento de incendio [3].

En los dos casos planteados se presenta gran número de alarmas indeseadas debido a la poca robustez de la instrumentación implementada que solo nos permite saber si hay o no humo,[38] o si hay o no una fuga de gas o si hay o no llama o calor, aunque han mostrado un alto nivel de éxito durante la aplicación en muchos casos, estos sistemas no están exentos de mal funcionamiento, operación y activaciones indeseadas por factores externos diferentes a incendios o eventos previos a esto [36][42].

Estos factores secundarios como son altos índices de polvo en el ambiente o cambios bruscos en la temperatura ambiente, chispas producto de obras cercanas al sitio entre otros cuando son detectados erróneamente por los dispositivos de entrada pueden generar la activación de sistemas secundarios [36].

Los sistemas secundarios como el de extinción con agua y espuma o con agentes limpios en algunos casos puede representar pérdidas económicas enormes para el dueño del sistema en caso de que se activen erróneamente y no para proteger según el diseño ante un evento de incendio [42].

Desde este punto de vista existen diversas soluciones de mayor y menor complejidad y costo, pero encontrar un único elemento abalado con la capacidad de reconocer la presencia de un incendio y discriminar otras fuentes externas que no son de un incendio es un campo de investigación [34][20].

Donde existen trabajos asociados a en búsqueda de la integración de sensores para inferir el inicio de un incendio, pero normalmente implican sensores que no son abalados por la normativa internacional es decir con fiabilidad reducida que puede afectar la inferencia [29].

Por lo anterior se hace necesario explorar métodos alternativos que puedan brindar mayor estabilidad al sistema tomando decisiones más acertadas ante eventos ajenos a incendios en sus fases iniciales, pero es inexistente en el mercado un sistema de detección y alarma de incendio que cuente con fiabilidad elevada empleando un sistema de inferencia que incorpore rutas de evacuación en una atención temprana bajo la regulación de la NFPA [1].

Por lo cual el presente trabajo plantea un sistema único que emplea exclusivamente sensores de humo avalados por la NFPA y que son empleados en otras aplicaciones pero de forma individual, creando un sistema multisensorial que permite mediante lógica difusa inferir la existencia del inicio de un incendio en una etapa temprana

permitiendo una evacuación oportuna, cumpliendo con lo regulado por la NFPA y facilitando su aplicación desde el punto de vista normativo [1].

Una función adicional es la de sectorizar las rutas de evacuación y extinción de incendios puesto a prueba mediante simulación en el primer piso de una edificación que requiere de este diseño.[36]

También a partir de la lógica difusa se seleccionan las zonas de pre-acción requerida en las áreas que los equipos lo permitan a través de los rociadores comandados por válvulas de diluvio, con el fin de garantizar la apertura de rociadores única y exclusivamente en el área de interés permitiendo así la preservación de materiales y equipos en zonas que no se encuentren expuestas a riesgos [41].

El desarrollo del diseño para el sistema y la respectiva supervisión mediante un HMI no solo garantizan una mayor fiabilidad del sistema, sino que proporcionan la capacidad de monitoreo del estado de cada uno de los equipos de detección y alarma en caso de una implementación futura [42].

Todo lo anterior es obtenido mediante una inferencia del sistema planteado para poder aplicar la lógica difusa en un sistema de múltiples entradas con única salida, permitiendo realizar la detección de una conflagración en las fases más iniciales del fuego o incluso detectando alarmas no provenientes del fuego al aplicar un universo de discurso más amplio que permite que el sistema sea más robusto y eficaz al momento de operar cumpliendo así con el propósito de este proyecto [20].

Objetivos

Objetivo general

Diseñar un sistema de detección y alarma de incendio mediante lógica difusa para control de los sistemas de detección, audio-evacuación y extinción de incendio del primer piso del edificio Simón Bolívar de la Universidad de Pamplona.

Objetivos específicos

1. Diseñar el sistema de detección y alarma de incendios del primer piso del edificio Simón Bolívar de la Universidad de Pamplona y riesgos seleccionados según la normativa NFPA (National Fire Protection Association).
2. Determinar el sistema de extinción con rociadores para el primer piso del edificio Simón Bolívar de la Universidad de Pamplona y los riesgos seleccionados.
3. Diseñar la matriz de causa y efecto del sistema de detección, audio-evacuación y extinción de incendios.
4. Diseñar el sistema de lógica difusa basado en la matriz de causa y efecto para la activación de los sistemas audio-evacuación y extinción de incendios.
5. Simular la supervisión de cada uno de los dispositivos contemplados para la detección, audio-evacuación y extinción de incendios mediante un sistema HMI basado en la versión académica del software LABView.

1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1.1. MARCO TEÓRICO

1.1.1. CONCEPTOS DE DETECCIÓN DE INCENDIOS

Para cumplir las demás de un mercado creciente existe en la actualidad una oferta bastante amplia con sistemas de detección y alarma de incendios prestos a cumplir con los requerimientos descritos en la NFPA estos sistemas de detección, alarma y extinción de incendios suelen emplear diferentes tecnologías para garantizar el buen funcionamiento de la aplicación, algunos de estos equipos son: detectores de humo (fotoeléctricos, haz proyectado, e incluso ionización), térmicos (temperatura fija o de tasa compensada), detectores de gas, detectores de llama, detectores de monóxido de carbono, gases limpios o inertes para la extinción, espumas y polvos químicos secos entre muchos otros más que suelen estar comandados por paneles de control de tecnologías bien sea convencional o direccionable. [9]

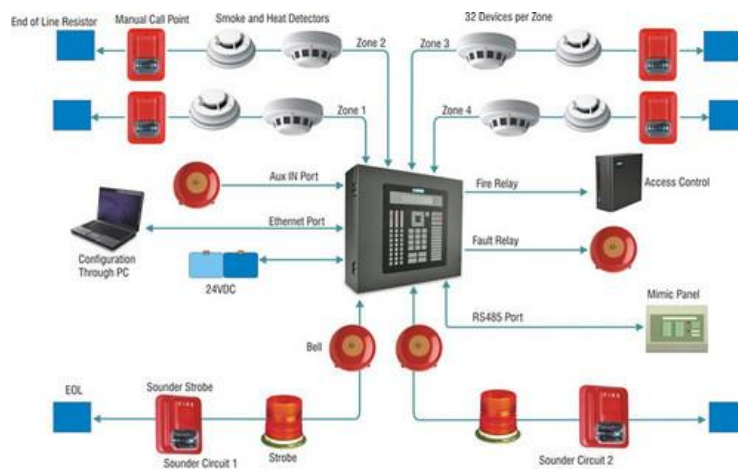


Figura 1. Arquitectura de control

Fuente: (matrixsecusol, 2018) <http://www.matrixsecusol.com/images/diagram/Fire%20Alarm%20Panel/PROPAC-Architecture-large.jpg>

Esta clasificación de tecnología en los paneles de incendio permite versatilidades diferentes, por ejemplo los paneles de tipo convencional no permiten saber la ubicación específica de los dispositivos asociados a el, solamente representan una alarma general en el sistema lo cual dificulta el reconocimiento de la zona en la cual se presente un evento, este tipo de equipos suele emplearse para riesgos únicos como un cuarto de control, un cuarto de servidores o similares donde el área sea lo suficientemente pequeña para lograr una identificación rápida de cualquier presencia de humo o de fuego.

Los paneles direccionables por el contrario cuentan con mayores capacidades y una

programación que permite reconocer las direcciones electrónicas de cada equipo asociado, incluso permitiendo asociar dispositivos iniciadores como detectores de llama y gas de tipo convencional con módulos de entrada que se comunican como interfaz entre el panel controlador y el equipo de medición mediante los mismos TAG o direcciones que permiten una identificación clara del equipo y su ubicación.

Muchas aplicaciones de tipo industrial en la industria de hidrocarburos exigen equipos más especializados con mayor grado de integridad y seguridad, en estos casos suele usarse equipos controladores basado en tecnología tipo PLC para cumplir con estos requerimientos, estos equipos funcionan de igual manera que los paneles convencionales comunicándose con los dispositivos de campo en una configuración en estrella es decir punto a punto.

En los primeros momentos de un incendio la generación de emisiones de humo son prácticamente nulas y poco visibles al ojo humano, en esta primera etapa se genera la llamada ionización de partículas en las atmosfera, en la cual se presenta un aumento en las cargas negativas presentes en el lugar, al momento de presentarse una aparición de humo clara y visible al ojo humano encontrándose de igual manera en el espectro de detección del detector es conocido como estado o etapa incipiente en la cual a pesar de que no presente llamas es cuestión de cualquier agente que genere una reacción que desprenda calor radiante y genere el incendio con llama visible. [3]

Como parte de la descripción de los equipos los más comunes y su funcionamiento particular se tienen detectores de humo los cuales difieren en tecnologías siendo actualmente los más actualizados los fotoeléctricos y los de tipo laser, los cuales en su cámara de detección cuentan con la capacidad de discriminar partículas de polvo con respecto a las partículas generadas por la emanación de humos. [12], por otra parte los detectores térmicos puntuales [9] cuentan con tecnologías de termistores fijos o en algunos casos funcionan mediante detección termo-velocimétrica la cual es sensible a cambios bruscos en temperatura cercanos al ambiente que los rodea.

La norma NFPA define adicionalmente que a pesar de los diversos sistemas de detección y alarma automáticos existentes en los diferentes riesgos y sus clasificaciones, se deba contar adicionalmente con un sistema manual (estaciones manuales de alarma) las cuales envían una señal eléctrica al panel controlador, estos equipos se usan en conjunto con sistemas de notificación y alarma (tipo sonoras y visuales) para identificar el posible evento de incendio y así mismo las rutas de evacuación más cercanas. [23]

En un grado más industrial suelen emplearse detectores con características robustos para el grado de uso requerido, estos equipos suelen ser los detectores de llama y gas. Los primeros funcionan bajo un principio de detección directa de la presencia de la llama mediante la clasificación de su espectro en el rango infrarrojo (IR) o ultravioleta (UV) siendo estos espectros particulares para los diversos tipos de llama dependiendo del combustible del que provengan, en otros casos estos

detectores cuentan adicionalmente con una tecnología mixta UV/IR usada habitualmente en la industria petroquímica y la industria carbonífera como minas de explotación y transporte. [9]

Como complemento a los sistemas de detección y alarma de incendios se emplean los sistemas de extinción, entre esos los más comunes que son los rociadores, los cuales son sistemas de protección activa y de mitigación ante cualquier evento de incendio.

Es habitual encontrar en instalaciones de tipo residencial y/o comercial el uso de rociadores de tipo automáticos los cuales cuentan con una configuración de tubería tipo húmeda, es decir la tubería cuenta con agua hasta el punto cero (0) o punto de salida[18], este tipo de rociador funciona por la ruptura de un bulbo de cristal ubicado en la boquilla del dispositivo este se rompe por el efecto térmico producido por un evento de incendio, en este momento se da paso al agua, este se encargara de dar cobertura a una zona específica, el flujo y tasa de aplicación es calculando previamente mediante un balance hidráulico. [30] Se ha demostrado durante el ejercicio y diseño de los diferentes software de balance que esta aplicación puede ser extendida según el tipo de rociador hasta unos 10 metros aproximadamente, controlando conflagraciones con temperaturas cercanas a los 100°C siendo una de las mejores protecciones empleadas ante eventos de esta naturaleza en edificios de múltiples riesgos, viviendas o en bodegas y otras aplicaciones de tipo industrial [18]

Los diversos tipos de riesgos y entornos en los que se pretenda emplear el uso de rociadores se debe seleccionar entre las múltiples opciones que se encuentren en el mercado y aptos para el cuidado y mitigación del riesgo, no obstante, la gran mayoría cuentan con tres aspectos básicos: la red mecánica de irrigación (tubería húmeda o seca), válvulas (seccionadoras o de diluvio, entre otras) y el elemento final a activar el rociador. [15], como medida de protección a los bienes ante falsas descargas también se cuenta con redes de tipo secas, estas son aquellas que no cuentan con flujo de agua hasta el punto cero (0) y en cambio se emplean otros agentes extintores como nitrógeno o aire a presión, estas suelen usarse en lugares cuya posibilidad de congelamiento de la tubería es alta por las bajas temperaturas (especialmente en lugares de inviernos fuertes), su costos es significativamente más elevado que el de las redes de tubería húmedas debido al aumento de diámetro y cambio en la especificación de los rociadores [15], las redes de tipo secas cuentan con un sistema de gran versatilidad controlados a través de una serie de válvulas seccionadoras (diluvio) que son activadas a través de señales eléctricas que energizan un solenoide ubicadas en ellas, están ligadas a una red húmeda en la cual se emplean en el punto cero (0) rociadores de tipo abiertos (no cuentan con bulbo de cristal), este tipo de sistema esta correlacionado y en dependencia del sistema de detección y alarma.

Este tipo de sistemas cuentan con el pro y contra de que se permite el paso de flujo

hidráulico (agua) hacia todos y cada uno de los rociadores asociados a la válvula de diluvio, lo cual permite una mayor cobertura, pero a su vez implica un mayor consumo de agua y posibles afectaciones a bienes materiales, este tipo de sistema debido a su alto coste no es muy aconsejable para grandes instalaciones. [15].

1.1.2. COMUNICACIONES INDUSTRIALES EN LOS PANELES DE INCENDIO

Los paneles de control de incendio suelen contar con protocolos de comunicación industriales para cumplir con requerimientos específicos de algunas aplicaciones, entre los más comunes suelen presentarse comunicaciones como RS-232 , RS-485 y MODBUS-TCP/IP que son de tipo abierto, los dos primeros protocolos suelen ser en ocasiones parte integral de algunos paneles controladores, cuando se trata de protocolos más especializados como el caso del MODBUS-TCP/IP se suelen emplear Gateway de comunicaciones que hacen interfaz y cambio de protocolo según el lenguaje nativo del panel controlador de incendio.

1.1.2.1. COMUNICACIÓN SERIAL RS-232

El protocolo de comunicación serial RS-232 es una comunicación asíncrona, es decir que se intercalan antes y después los datos del mensaje que se envía desde el emisor al receptor.[44] Esta información básicamente es una estructura de conexión entre el emisor y receptor que se establece mediante la “programación” de los puertos de salida y entrada del emisor y receptor respectivamente. [43]

A continuación se observa la configuración de cómo se envía la información en un protocolo RS-232

Bit de paridad.- Es un bit empleado en la trama de datos con la finalidad de detectar errores en la transmisión siendo esta de tipo par o impar.

Bit de parada.- Este bit es empleado con la finalidad de determinar la finalización de un mensaje transmitido.

Bit de inicio.- Es el bit que indica que se ha comenzado a transmitir y que a partir de él se comienza la recepción de datos e información cuando el receptor detecta el bit de inicio el receptor interpreta que ha de comenzar la lectura de la transmisión del mensaje.

Señales de la RS-232.

- Request To Send (RTS): Pregunta al receptor si está listo para el envío del mensaje y espera confirmación.
- Clear To Send (CTS): Confirmación del receptor al emisor para comenzar la transmisión.

- DATA Terminal Ready (DTR): Esta línea permite al emisor recibir datos
- Data Set Ready (DSR) : Confirmación del receptor ante una señal (DTR) en el emisor, da paso al reenvío de información.
- Receive Signal Line Detect (RSLD): Confirmación del receptor con un segundo dispositivo, esta se da para indicar al emisor que se ha establecido una doble conexión como es el caso de un PC con dos MODEM que se interconectan entre ellos.
- Transmit Data (TD): Línea de envío del dato
- Receive Data (RD): Línea de recepción del dato [43]

1.1.2.2. COMUNICACIÓN RS-485

El estándar de comunicación RS-485 también conocido como EIA-485, es un bus que pertenece a la capa física del Modelo OSI (Open System Interconnection), este bus está definido como un sistema de tipo diferencial multipunto, el cual es ideal para realizar transmisiones a altas velocidades y siendo usado en distancias largas, las velocidades definidas según la distancia son de aproximadamente 10 Mbit/s hasta 12 metros y 100 kbit/s en 1200 metros, estas velocidades son alcanzadas siendo un medio físico empleado, habitualmente se suele usar el par trenzado que es poco susceptible al ruido eléctrico presente en los conductores por interferencias externas o los mismos campos electromagnéticos que se generan en estos, esta comunicación se realiza por dos pares trenzados y es conocida como half-duplex (semiduplex). [44]

Ventajas del protocolo RS-485

- Un solo nivel de tensión de alimentación +5V
- Conexión punto a multipunto
- Conectividad de hasta 32 puntos aunque existen nuevas que permiten hasta 256
- Velocidades de 10Mbit/s a distancias menores o iguales a 12 metros
- Velocidad de 100Kbit/s para longitudes de hasta 1200 metros

1.1.2.3. COMUNICACIÓN MODBUS-TCP/IP

Este protocolo nació en el año de 1979 y fue creado para ser aplicado en primera instancia a equipos de uso industrial como lo son los Controladores Lógicos Programables (PLCs), equipos de cómputo, variadores de velocidad de Motores, y algunos equipos de instrumentación encargados de sensorica, entre otros. Equipos de entrada y salida. [45]

Es un protocolo sencillo y eficaz que actualmente es el más usado en la mayoría de

aplicaciones de comunicación industrial.

Este al igual que el RS-232 y el RS-485 es considerado como un protocolo de comunicaciones abierto lo cual lo hace ideal para ser empleado en cualquier aplicación algunas de las características más importantes de este protocolo son:[44]

- Es un protocolo público como se menciona anterior es de libre uso
- Es de fácil implementación
- Se pueden implementar bloques de datos sin restricciones
- Se basa en la transmisión de datos mediante uso de IP dando fidelidad y seguridad en su uso.

La ventaja de este protocolo es que al realizar una conexión en red de tipo maestro – esclavo cada mensaje enviado por el dispositivo maestro se considera como un mensaje independiente es decir, cada traza de bits enviadas es un nuevo mensaje totalmente independiente al enviado anteriormente, esto hace que la transmisión este sometida de manera mínima a perturbaciones por ruido, esto también permite que sea menor la información de recuperación que llegue a ser requerida entre los dos terminales. [45]

Modbus TCP crea una comunicación inicial entre los dispositivos previo al envío de mensajes, esto permite que se generen múltiples conexiones de manera concurrente, permitiendo así el reusó por parte del cliente (maestro) de las conexiones previamente establecidas con diferentes esclavos o simplemente crear una nueva al momento de requerir transmitir datos [45]

Ventajas del protocolo Modbus/TCP

- Fácil de administrar y expandir, no es necesario contar con configuradores especiales al añadir direcciones nuevas a una red.
- Es un protocolo abierto por ende no cuenta con licencias que incurran en costos adicionales, no requiere software especializado de algún propietario.
- Se puede emplear para comunicar un gran número de dispositivos con el mismo protocolo usando Switch o equipos de paso como Gateway.
- Alto desempeño y fiabilidad con alta tasa de transmisión y tiempos de respuesta en el orden de los milisegundos, solo es limitado por la velocidad de procesamiento del equipo emisor y receptor.

1.1.3. LOGICA DIFUSA

Este concepto aunque común, es habitualmente asociado con la forma en las que se puede percibir un medio, por ejemplo la temperatura; alguien según su grado de percepción puede indicar que un sitio es cálido, mientras que para una segunda persona puede ser tenue o fría, así mismo esto puede aplicarse a un sin número de variables y conceptos que pueden ser ambiguos en diferentes criterios [2].

Teniendo en cuenta que así como la temperatura hay muchas otra variables que pueden ser consideradas como ambiguas (dependiendo de la percepción del individuo receptor) hacen que sea posible la implementación de una forma diferente de determinar parámetros a razón de valores intermedios.

Así se conciben los conjuntos difusos que básicamente emplean estas ambigüedades para referir un universo de discusión en el cual se puede operar, esta forma de aplicación se podría llamar como una extensión de la teoría de conjuntos clásicas y solo permite dos posibilidades; pertenece o no a un conjunto (universo). [11][14]

Estos conjuntos son los que permiten la implementación de una lógica difusa realizando afirmaciones lógicas, con esto se puede hablar de una especie de inteligencia artificial en la que se logra emular la forma de determinación de decisiones de una persona. [2]

Es imperativo tener en cuenta que para el ámbito ingenieril la experiencia sea determinante al momento de diseñar con este tipo de lógica, por lo cual se permite de alguna manera decir que es posible transferir características humanas a elementos como maquinas ante la percepción de ciertas variables y toma de decisiones, claramente esto es posible de una manera limitada. [2]

La implementación de un tipo de lógica con características difusas en sistemas de control determina lo que se denomina como sistema de control difuso, Dentro de este tipo de sistemas podemos encontrar el modelado o identificación y el control de tipo directo [2]

A diferencia del control tradicional el difuso tiene una versatilidad práctica, esta es que no es requerido de un modelo matemático para el controlador y que se puede obtener un controlador de tipo no lineal de forma empírica sin ecuaciones matemáticas complejas. [11][14]

1.1.3.1. SISTEMAS MISO

En los casos en los que solo se cuenta con una única variable para el control a través de múltiples variables de entrada se le llama MISO (Multiple Input Single Output), por ejemplo la activación de un relé que determine la apertura de una válvula de control de agua basado en varios parámetro como la presión, el flujo y la temperatura, en este caso se podría inferir que si hay un nivel bajo de presión, bajo nivel de flujo y una temperatura se debería realizar la acción de apertura para llevar a cabo la lógica de funcionamiento pertinente. [17]

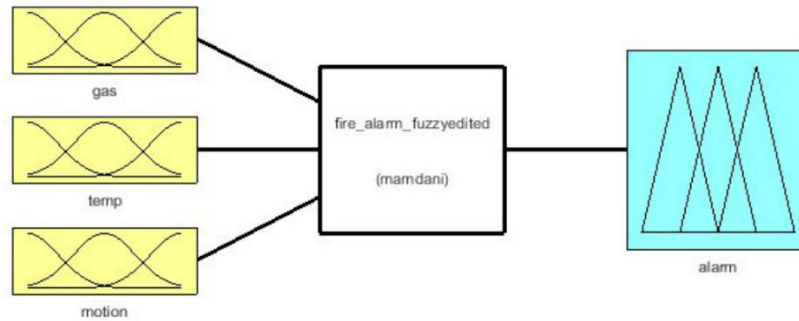


Figura 2. Modelo de Control Difuso de múltiples entradas y única salida MISO

Fuente: (Kunal, Navneet, Sheikn, & Utkal, 2016)

Este tipo de sistemas son útiles cuando se depende de varias variables que determinen el comportamiento de un sistema o subsistema con una única señal, incluso esta puede ser empleada en varios puntos del lazo de control. [17]

1.1.3.2. FUNCIÓN DE MEMBRESÍA

Una función de membresía es aquella que hace referencia a una serie de definiciones que identifican la pertenencia de valores dentro de un conjunto o universo de discurso, estos valores habitualmente se declaran como lógicos, tomando estos los valores de 1 o 0 según sea pertinente. [22]

Estas funciones de membresía son las que precisan el grado de pertenencia que se puede generar entre universos dependiendo de la correlación que exista entre los diferentes conjuntos difusos. [22]

$$\mu G(x) = \begin{cases} 1 & 2 \leq x \leq 9 \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

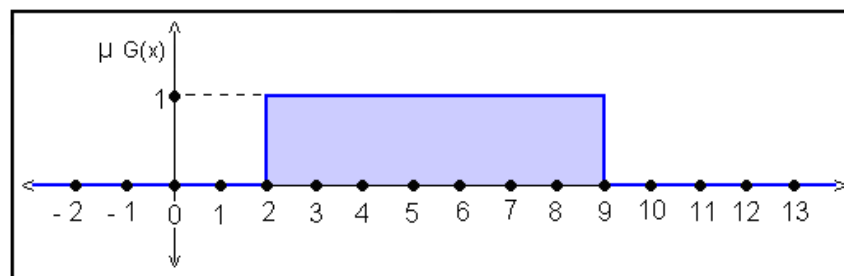


Figura 3. Ejemplo de función de membresía. [22]

1.1.3.3. TIPOS DE CONJUNTOS DIFUSOS.

Teniendo como premisa lo mencionado en el inciso 1.2.2. se pueden observar

algunos de los conjuntos difusos más comunes que se encuentran habitualmente, entre ellos podemos observar: Conjunto triangulares, trapezoidales, Campana de Gauss, Unitario, etc, donde los más usados son el triangular y el trapezoidal por la versatilidad que presentan con un único valor máximo o un subgrupo de observación en las crestas del trapezoide para ser empleadas en rangos más amplios de discusión. [17]

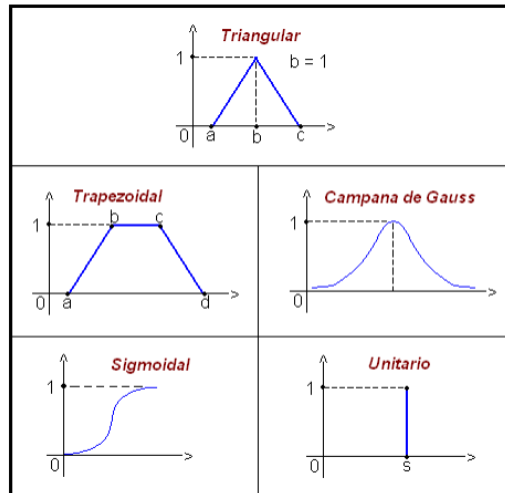


Figura 4. Tipos de conjunto difusos. [22]

1.1.3.4. FUSIFICACIÓN

La fusificación es un proceso que asocia valores lingüísticos o números de entrada según los términos determinados en la lógica correspondiente, en esta se asignan variables lingüísticas para poder asociar estas entradas con una posible salida que depende de las funciones de membresía correspondiendo a uno o más valores a la salida según el universo de discurso seleccionado. [17]

Es importante tener en cuenta que la fusificación es una forma en la cual es posible representar varios fenómenos de la realidad que no pueden tener un único valor sino que por el contrario cuentan con un número mayor de respuestas comprendidas entre valores de 0 y 1, por esta razón podemos afirmar que en un conjunto difuso cada variable de entrada está estrechamente ligado con uno o varios conjuntos difusos según el grado de pertenencia, por ejemplo un valor de temperatura media podría tomar valores en el universo de discurso de la temperatura baja o en el universo de discurso de la temperatura alta. [22]

Un conjunto difuso es una forma de representar los fenómenos de la realidad, los cuáles no sólo tienen dos valores como Verdadero o Falso, sino que tienen un infinito número de estados comprendidos entre 0 y 1, es por tal motivo que en un

conjunto difuso cada uno de sus elementos toma un grado de pertenencia en dicho conjunto, esta función es la que se encarga de ligar los elementos del conjunto U universo de discurso con los elementos del intervalo entre 0 y 1. [22]

Teniendo en cuenta lo anterior podemos emplear la siguiente simbología:

Universo de discurso	U	Contiene todos los elementos
Vacío	$\emptyset$	No contiene ningún elemento
Unitario	∂	Sólo contiene 1 elemento

1.1.3.5. DEFUSIFICACIÓN

Con este proceso lo que se pretende es que los grados de membresía de las variables lingüísticas de salida sean interpretados en valores numéricos claros. Por ejemplo un controlador difuso podría usar varios métodos matemáticos para poder determinar una defusificación, estos métodos suelen variar dependiendo del tipo de control y de aplicación que se vaya a emplear. [17]

Este proceso matemático se encarga de convertir las variables del conjunto difuso en variables reales, Se debe tener en cuenta que la salida de un sistema difuso está determinada por el universo de discurso que este represente y que su salida de tipo real representara la totalidad del conjunto final obtenido, [19] es por eso que existen diferentes métodos de defusificación y arrojan resultados distintos.

1.1.3.6. TOMA DE DECISIONES

En la sección anterior se observaron algunos conceptos que definen el sistema de inferencia o que ayudan en la toma de decisiones al emplear la lógica difusa. Ahora se deben tener en cuenta algunos pasos que son requeridos para demostrar la toma de decisiones en estos sistemas o inferencias, en la figura 5 se muestra de manera muy genérica y general el esquema en la que estos sistemas toman las decisiones. [24]

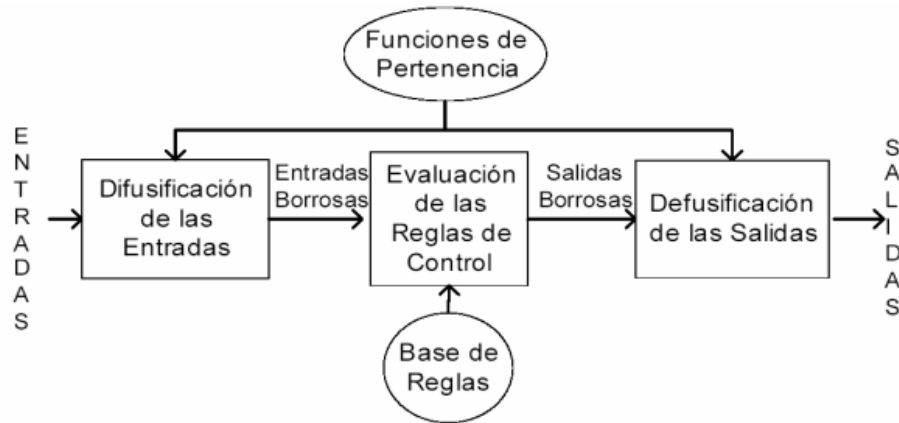


Figura 5. Sistema de inferencia difuso [24]

1.1.3.7. INFERENCIA DE MAMDANI

Este método fue definido por Mamdani en 1975, tiene la particularidad de poder desarrollarse en un mínimo de cuatro pasos:

- Fusificar las variables de entrada mediante la asignación de etiquetas lingüísticas.
- Evaluar las reglas y la correlación entre ellas
- Dependiendo de la correlación de las etiquetas lingüísticas de entrada se determina la agregación de las salidas.
- Defusificación.

Teniendo claro esto se encuentra que el método de Mamdani usa reglas lógicas como SI, ENTONCES, (IF o THEM) para la determinación de una salida con valor real descrito entre 0 o 1. [24]

En caso tal de que una regla tenga múltiples valores de entrada se pueden emplear otros operadores lógicos como los son “Y” u “O” (AND u OR) con el fin de poder obtener un único valor de salida que represente el valor real consecuente de la aplicación de la regla.

En este método se suele hacer un listado de todas las reglas difusas, las cuales sirven para identificar como se obtiene el sistema en su totalidad. [24]

Por ejemplo:

Regla 1: if X es BAJO and Y es BAJO then Z es ALTO

Regla 2: if X es BAJO and Y es ALTO then Z es BAJO

Regla 3: if X es ALTO and Y es BAJO then Z es BAJO

Regla 4: if X es ALTO and Y es ALTO then Z es ALTO

Otra manera por la cual se representan las reglas obtenidas es mediante una tabla en la cual se describan las entradas y salidas a razón de su relación lingüística.

SALIDA	MEMBRESÍA	ENTRADA X	
		BAJO	ALTO
Y	BAJO	ALTO	BAJO
	ALTO	BAJO	ALTO

Tabla 1. Matriz de Mamdani

Basado en lo anterior se debe mencionar el método de evaluación del sistema dependiendo del operador lógico empleado, por ejemplo si usamos una disyunción OR, debemos evaluar la lógica de la función por un estándar MAXIMO.

Si empleamos una disyunción AND la evaluación del sistema se toma habitualmente por un estándar MINIMO.

Una vez aclarado esto se puede deducir que la evaluación de todos los valores antecedentes son relacionados con los valores consecuentes aplicando un factor de recorte o escalado según el grado de verdad del valor antecedente necesario para la obtención de la salida de la regla del conjunto difuso.

El método más comúnmente usado es el método del recorte (clipping) que corta el valor consecuente con el valor real del antecedente generando así una salida real.

El método de escalado se considera más efectivo y preciso ya que preserva la forma original del conjunto difuso y es el resultado de multiplicar los valores del conjunto por el valor real del dato antecedente. [26]

1.1.3.8. INFERENCIA DE TAKAGI-SUGENO-KANG (TSK)

El modelo de Takagi-SUGENO-Kang (TSK) es conformado por reglas lógicas que cuentan con un valor antecedente difuso y un valor posterior o consecuente funcional, prácticamente son una mezcla de modelos difusos y no difusos. Estos modelos difusos basados en TSK [24] son los que integran la capacidad de los modelos lingüísticos para la representación cualitativa del conocimiento y que dan la capacidad efectiva de expresar información cuantitativa. Este tipo de modelo difuso también permite una comprensión más fácil de los datos obtenidos según la salida de los sistemas.

Mientras que en TSK las funciones de membresía de las salidas son lineales o constantes Mamdani puede presentar no linealidades en las salidas del sistema, teniendo esto podemos determinar un sistema TSK de la siguiente manera [32].

$$IF X_1 \text{ is } Z_1 \text{ and } \dots \text{ and } X_n \text{ is } Z_n, THEN y = C_0 + C_1 X_1 + \dots + C_n X_n$$

Allí X_n es cualquier variable de entrada, Z_n serian todos los conjuntos difusos que corresponden a las variables de entrada la variable "y" representa la variable de salida y C_n corresponde a los parámetros de la función consecuente.

Una de las ventajas de este sistema es que el costo computacional es menor, adicionalmente no requiere funciones de membresía a la salida, sino que se definen

combinaciones lineales definidas a razón de los valores de entrada. Esta salida básicamente se trata de promediar los resultados de las combinaciones lineales obtenidas a la salida y los valores arrojados por el método de obtención de resultados, es decir por máximos, mínimos, valores medios, etc. [27]

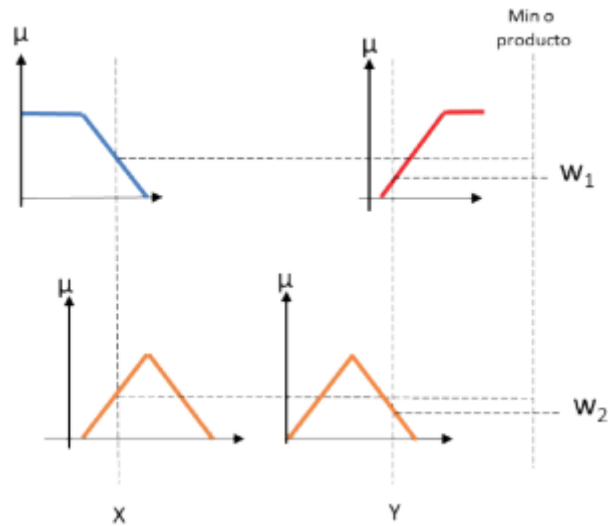


Figura 6. Representación de los valores de entrada y salida en TSK. [27]

La principal diferencia que presenta el método TSK respecto al de Mamdani es que no es necesario realizar un proceso de defusificación. Esto se debe al hecho de que no se obtiene ningún conjunto difuso sino un conjunto de funciones lineales.

2. DISEÑO DEL SISTEMA DE DETECCIÓN Y ALARMA

En este capítulo se describe la filosofía de control del sistema de detección y alarma para la primera planta del Edificio SIMÓN BOLÍVAR de la UNIVERSIDAD DE PAMPLONA, dentro del proyecto en cuestión, como parte del alcance la filosofía de control del sistema de detección y audio-evacuación tiene establecidos los parámetros de operación, la descripción de las acciones de notificación y alarma y sus interacciones con el sistema de extinción de incendios planteado.

El código colombiano de sismo resistencia establece los requerimientos para la protección contra incendios en las edificaciones construidas en el país, sin embargo, para este proyecto se toma como referencia los códigos NFPA ampliamente utilizados para la protección contra incendios [2].

El alcance de esta filosofía de control está limitado a solo diseño conceptual debido a la imposibilidad de implementación en esta fase por el alto costo de una solución real.

De esta manera el sistema activa los equipos de notificación sonora o visual del área involucrada en el evento de incendio, notificando a los operadores del centro de control (HMI) y al personal de la edificación presente en los alrededores.

2.1. ÁREAS DE INCENDIO Y/O EXPLOSIÓN (AIE) DEL PISO 1 DEL EDIFICIO SIMÓN BOLÍVAR

Las áreas de incendio y/o explosión de la Edificación definidas en este documento se presentan en la Tabla 2. Los dispositivos asociados a cada área pueden observarse más adelante.

ÍTEM	ÁREA DE INCENDIO Y/O EXPLOSIÓN (AIE)	FILOSOFÍA DE DETECCIÓN Y NOTIFICACIÓN DE ALARMA
1	SB 101 sótano - almacén	Detección de humo
2	SB 102 CEIM – UP	Detección de humo
3	SB 103 Laboratorio de materiales	Detección térmica
4	SB 104 sala de profesores	Detección de humo
5	SB 105 Laboratorio de plásticos y mecanizados	Detección térmica

ÍTEM	ÁREA DE INCENDIO Y/O EXPLOSIÓN (AIE)	FILOSOFÍA DE DETECCIÓN Y NOTIFICACIÓN DE ALARMA
6	SB 106 Sala de informática	Detección de humo, detección manual.
7	SB 107 Laboratorio de simulación virtual	Detección de humo, detección manual
8	SB 108 Aula de clases	Detección de humo
9	SB 109 Infraestructura tecnológica	Detección de humo
10	SB 110 Grupo de investigación GIBUP	Detección de humo, detección manual
11	SB 111 Academia local CISCO	Detección de humo, detección manual
12	Sb 112 Laboratorio de herramientas y maquinas	Detección térmica, detección de gas
13	Sb 113 Depósito	Detección de humo
14	Sb 114 Laboratorio de soldadura y troquelado	Detección térmica, detección de gas
15	Sb 115 Transformador	Detección térmica
16	Hall – Recepción	Detección manual
17	Pasillos	Detección manual

Tabla 2. Matriz de Áreas de incendio incluidas en el alcance del proyecto

2.1.1. CONTROLADOR

Teniendo en cuenta que el sistema debe ser comandado por una central adecuada para la aplicación se contempla dentro del diseño un controlador de incendios basado en tecnología PLC con la capacidad de soportar señales analógicas y digitales de entrada y salida según es requerido.

El controlador debe estar ubicado en interiores de ser posible con un gabinete en acero coll roled pintado con pintura electrostática, y debe estar anclado a la pared a una altura no menor a 1.5 mts.

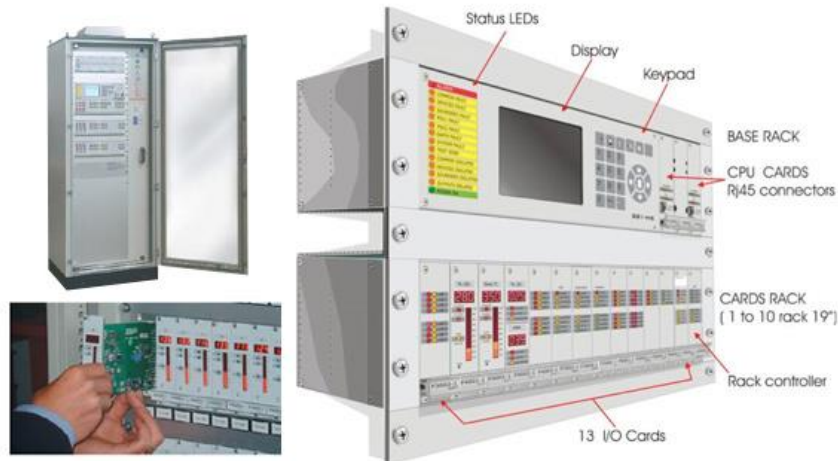


Figura 7. Controlador de incendios

El controlador está basado en NFPA 72 y cumpliendo según los estándares que allí se indican al igual que los equipos que lo componen.

El gabinete cuenta con los siguientes equipos internamente:

- CPU basada en PLC con HMI local capaz de alojar eventos y de ser descargados mediante puerto Ethernet o similar, el controlador tiene la capacidad de permitir cambio de tarjetas en caliente que garanticen la continuidad de operación en el sistema sin tener que desenergizarlo o bloquear su operación.
- Módulo de lógica difusa compatible con el controlador
- Módulo de comunicaciones basado en protocolos industriales abiertos como MODBUS TCP/IP, RS232 o similar para comunicación con SCADA – HMI remoto
- Fuente de alimentación para el sistema con la capacidad de alimentar el controlador tarjetas y módulos con una entrada a 110/220 VAC a la entrada y 24VDC a la salida
- Fuente dedicada para la instrumentación de campo (detectores, estaciones manuales, etc) 24 VDC de salida y alimentada por la fuente principal.
- Módulo monitor de falla a tierras
- Módulos digital de entradas y salidas I/O mínimo de ocho (8) canales
- Módulo de entradas analógicas AI mínimo de ocho (8) canales

El gabinete cuenta con lámpara (luminaria) en la parte superior para poder observar e intervenir durante supervisiones nocturnas, adicionalmente cuenta con la posibilidad

Debe ser debidamente identificado con una placa en su frente (FACP-001), todo el cableado debes ser organizado mediante canaletas porta cable y deben ser llevados

a un marshaling de bornas que cuente con bornas con fusible debidamente organizado e identificado.

Sistema de cierre rápido mediante cerradura con llave de preferencia.

Las cajas antes mencionadas deben cumplir con al menos las siguientes aprobaciones según aplique

Aprobaciones eléctricas UL, CSA y TUV

Aprobaciones EN 60715.

Aprobado UL 94.

Aprobado IEC 60695-2-11.

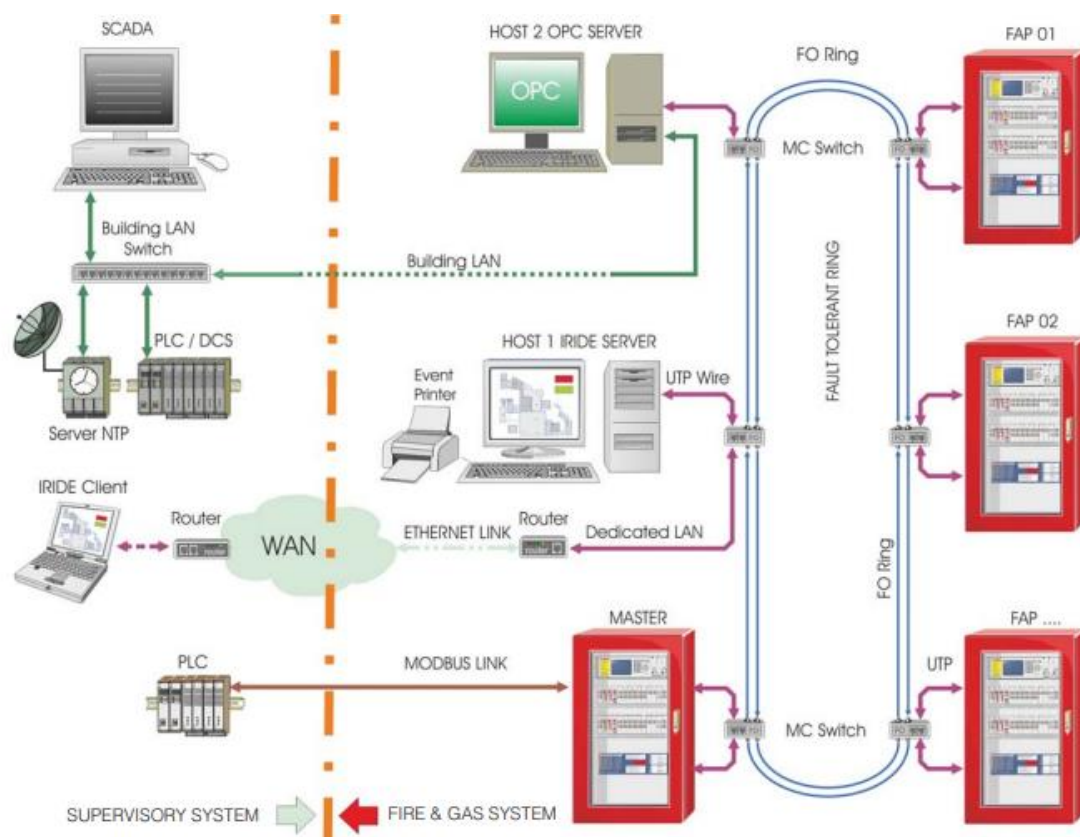


Figura 8. Ejemplo de topologías posibles para implementar.

El controlador cuenta con la capacidad de ser conectado en red mediante anillo de comunicación en fibra óptica o cobre según sea requerido, a su vez cuenta con la capacidad de integrar sistemas de extinción de incendios ya que sus salidas están certificadas para uso en sistemas de extinción con agua (listadas por UL para descargas)

2.1.2. DETECCIÓN POR HUMO

La detección de humo está definida por dos tipos de sensores, el primero será de tipo análogo y será empleado en los lugares que se requiera establecer una lógica difusa con la finalidad de tener una inferencia traducida en la confirmación, la segunda será empleada en las aulas (riesgos) que no requieren sensores múltiples, estos son de tipo digital y solo representan dos (2) estados.

2.1.2.1. DETECTORES DE HUMO ANALÓGICOS

Los detectores de humo analógicos con señales de 4-20 mA son equipos robustos que suelen emplearse en sitios donde el nivel de humo, polución o simplemente por normalidad de operación requieren de un índice de sensado con un grado alto de seguridad en la medición, a pesar de ser equipos de principio fotoeléctrico estos cuentan con la capacidad de poder establecer niveles de mediciones seteadas según cierto parámetros predefinidos por el fabricante, para este caso se configuran en modo estándar para oficinas y salas de reuniones, con una sensibilidad fija en la cual reporten de manera digital cualquier evento que este dentro del rango estándar del equipo según el porcentaje de oscurecimiento en la cámara de sensado.

Para la Academia CISCO (SB 111), GIBUP (SB 110) y la SALA DE INFORMATICA (SB 106) son empleados los detectores de humo de tipo analógicos, de modo que estos estan seteados a diferentes niveles para poder obtener una mejor resolución y exactitud al momento de generarse ante la posibilidad de sensado.



Figura 9. Detector de humo fotoeléctrico con salida 4-20mA

Fuente: Hoja de datos del detector de humo de tipo analógico FireGuard de la marca SIGRIST

Los detectores mencionados anteriormente serán relacionados mediante lógica difusa al sistema de control, esta lógica de activación será determinante al momento de la exactitud de la alarma ya que mediante votación cruzada (activación de más de un dispositivo) en rango medio – alto generaran la señal de alarma en la zona de interés.

2.1.2.2. DETECTORES DE HUMO CONVENCIONALES DE TIPO DIGITAL

Los detectores de humo convencionales de tipo digital son equipos que entregan señales lógicas basadas en contacto secos, un cero (0) lógico indica que todo se encuentra en estado normal, un uno (1) lógico indica que se ha reportado una activación y que se requiere de atención en la zona en la que se encuentra ubicado.

Estos dispositivos están definidos para ser usados en el SB-101/102/104/107/108/109/113 y se han seleccionado bajo las recomendaciones de la norma NFPA 72 para el uso y criterio de protección de riesgos de tipo ordinario donde la infraestructura de la edificación permite su implementación.



Figura 10. Detector de humo fotoeléctrico convencional (a) y Simbología NFPA detector de humo fotoeléctrico (b)

Fuente: Hoja de datos del detector de humo puntual de tipo convencional 711U Kidde Fire System

Al igual que los detectores analógicos, la cantidad a ser empleada dependerá del radio de cobertura del equipo que por definición de la norma NFPA 72 no puede ser menor a los 9.1 m de diámetro o 4.55 metros de radio, tal como se puede observar en la figura 9.

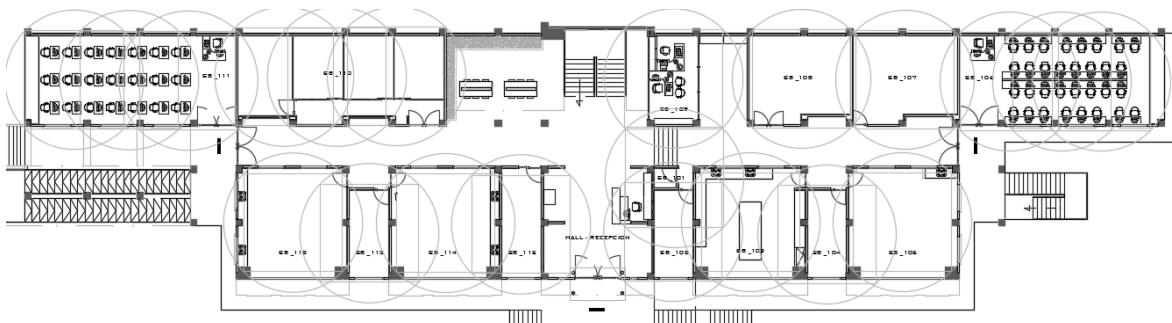


Figura 11. Radio de cobertura detectores de humo

Ante un evento de fuego en cualquiera de los detectores de humo análogos o digitales se activa el modo de alarma por presencia humo. Esta señal será enclavada hasta el reinicio del sistema, al mismo tiempo esta señal activa los dispositivos de notificación publicando un mensaje de voz para la evacuación.

2.1.3. DETECCIÓN DE TEMPERATURA

La detección por temperatura será realizada por dos equipos con tecnologías diferentes según el tipo de aplicación, esta definición se toma por las recomendaciones de la NFPA 72 para riesgos normalmente ocupados y de tipo “ordinario”.

2.1.3.1. DETECTORES TERMICOS PUNTUALES

Los primeros llamados detectores de temperatura puntuales son del tipo ordinarios y de tecnología convencional estos son empleado en el SB-103/105/112/114/ y cuentan con una temperatura de activación fija de 58 °C, están ubicados en techo y se usan en los recintos donde la presencia de humo es normal debido a la operación de la locación, para el caso se ha considerado el uso de estos en laboratorio de herramientas y máquinas y laboratorio de troquelado, laboratorio de materiales y laboratorio de plásticos y mecanizados.



Figura 12. Detector térmico convencional (a) y Simbología NFPA detector de térmico (b)

Fuente: Hoja de datos del detector térmico puntual de tipo convencional 5121 System Sensor

2.1.3.2. DETECTORES TÉRMICOS LINEALES

Los detectores térmicos lineales tienen una temperatura de activación 88 °C y está ubicado en el transformador de potencia ubicado en el SB-115, al tratarse de un transformador de tipo sumergido en aceite se emplea el cable detector lineal para que se active una vez se supere la temperatura promedio en la que se funde la chaqueta de este, el cable detector lineal funciona cuando los dos hilos que lo componen se juntan en una unión bimetalica que el sistema interpreta como un contacto seco.

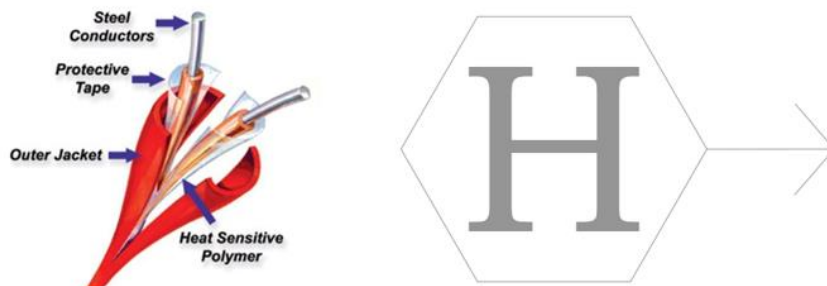


Figura 13. Detector térmico lineal (a) y Simbología NFPA detector de térmico lineal (b)

Fuente: Hoja de datos del detector térmico lineal LHS Kidde Fire System

Ante un evento de fuego en cualquiera de los detectores: térmicos puntuales o térmico lineal activarán el modo de alarma por presencia calor. Esta señal será enclavada hasta el reinicio del sistema y activa los dispositivos de notificación publicando un mensaje de voz pregrabado en el sistema.

2.1.4. DETECTOR DE GAS

Los detectores de gas son equipos de tipo convencional listados y aprobados para ser usados en áreas clasificadas como explosivas, este cuenta con una salida analógica que se mueve dentro del rango de los 4 – 20 mA para poder condicionar e interpretar las señales del sensor, para el caso la cámara de este equipo es de tipo infrarroja funcionando con el principio de absorción de luz, tiene la capacidad de determinar la concentración de una nubosidad de gas específico, para el caso en cuestión será gas metano (CH_4) proveniente de la red doméstica empleada en los laboratorios SB-112 y SB-114, este equipo interpreta la densidad de la nubosidad convirtiéndola en un valor porcentual denominado LEL (Lower Explosive Limit) o límite inferior de explosividad.

Este equipo está configurado en este caso para reportar una alarma media en un valor igual al 40% y menor que el 70% del LEL, al momento en que se supere este último valor se considera como una detección de nubosidad potencialmente peligrosa debido a la concentración presente en el ambiente.



Figura 14. Detector de gases inflamables (a) Simbología NFPA Detector de gases inflamables (b)

Fuente: Hoja de datos del detector XCD Honeywell Analytics

2.1.5. DETECCIÓN MANUAL

Las estaciones manuales de alarma están ubicadas a las salidas de los riesgos principales y en los pasillos de tránsito, estos son equipos que cumplen con la normativa NFPA para dispositivos de iniciación estos deben contar con una doble confirmación mecánica para su activación evitando accidentes, generalmente suelen ser de tipo “PUSH & PULL” (Presione y hale) la activación de las estaciones manuales de alarma iniciara el modo de alarma por detección de humo, llama o gas. Esta señal será enclavada hasta el reinicio del sistema.



Figura 15. Estación manual de alarma (a) y Simbología NFPA Estación manual de alarma (b)

Fuente: Hoja de datos de estación manual de alarma NBG-12LO Notifier

Cualquier estación manual de acción general activa todos los dispositivos de notificación sonora y visual del piso con el respectivo mensaje de audio evacuación asociado.

2.2. FILOSOFIA DE NOTIFICACIÓN DE ALARMA POR FUEGO Y GAS.

La filosofía de notificación sonora y visual es de tipo local es decir se activa la notificación en el momento del evento de detección relacionado, el objetivo de la

notificación será el evacuar al personal presente en el área afectada y a su vez de servir como indicación para que el personal que se disponga a evacuar las áreas no se dirija a los puntos afectados. Debido a que la edificación cuenta con un sistema de notificación general se han agrupado distintos mensajes para obtener el cubrimiento con el menor número de sirenas, siendo el sistema de audio-evacuación contemplado como el mecanismo principal de notificación de eventos.

Siempre que exista algún tipo de activación y/o evento se activa una notificación visual en el HMI para que sea clara y sencilla la identificación del evento.

Las notificaciones visuales/sonoras permanecen activas hasta que el sistema sea reiniciado, en caso de que el evento no haya sido superado estas deben comenzar nuevamente su funcionamiento.

En el HMI se presenta en color rojo los dispositivos que estén activos en estado de alarma, en amarillo los dispositivos en estado de pre-alarma, en azul los dispositivos en mantenimiento o falla y en verde los dispositivos en estado de operación normal o espera.

Debido a que la edificación cuenta con un sistema de audio evacuación, se personalizaron los mensajes acordes a las áreas involucradas en los eventos de incendio. En el documento Matriz causa efecto del sistema se podrá observar con mayor claridad lo descrito en este subíndice.

2.2.1. NOTIFICACIÓN SONORA Y VISUAL

Las alarmas se activan de forma automática cuando el sistema identifica un acontecimiento peligroso debido a la condición de alarma por detección de humo, gas y/o de temperatura, esta activación se basa en la lógica difusa planteada para los detectores que apliquen (activación múltiple) o una activación de cualquier otro dispositivo de iniciación ubicado en la edificación.

La notificación sonora puede ser silenciada desde el HMI del sistema, en caso de que el evento no haya sido superado estas deben comenzar nuevamente su funcionamiento

Los parlantes para indicación de alarma de incendio tendrán una intensidad sonora de al menos 10 dB por encima del ruido ambiente del área de incendio cubierta.

Para la alerta sonora por alarma de incendio se utiliza el patrón sonoro descrito en la figura 14 que corresponde al patrón “ISO 8201/ ANSI/ASA S3.41 Temporal Pattern”

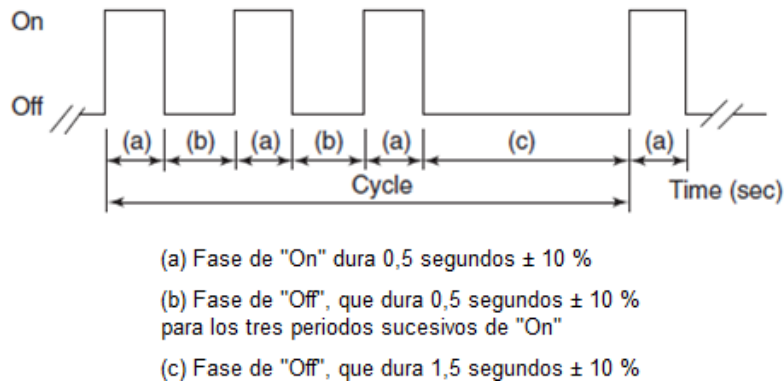


Figura 16. Patrón de sonido de alarma de evacuación.

Fuente: NFPA 72 Ed. 2016 Figura 18.4.2.1

Se han definido equipos combinados speaker con estrobos para la implementación de este proyecto, por esto se define que para la indicación de alarma según los requerimientos de la norma NFPA 72 las luces estroboscópicas pueden ser de color blanco o "clear", la potencia en candelas efectivas será determinada acorde a los requerimientos de la norma NFPA.

Para el caso de este proyecto por tratarse de una simulación estos parámetros no son significativos y se dejan como informativos.

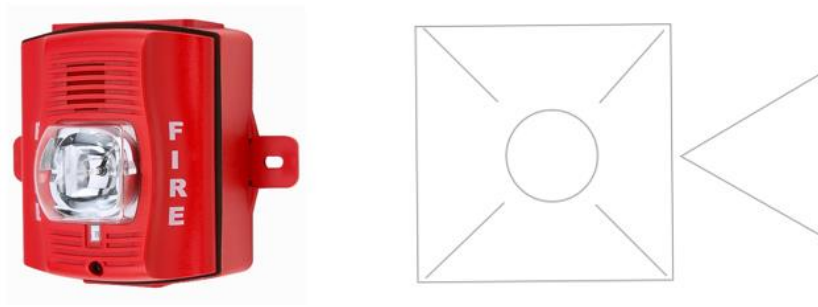


Figura 17. Parlante con luz estrobo (a) Simbología NFPA Parlante con Luz Estrobo

Fuente: Hoja de datos Parlante con estrobo marca System Sensor

2.3. AUDIOEVACUACIÓN

La edificación cuenta en su diseño con un sistema de notificación general que se activa a través de un solo canal, el cual está conformado por 5 parlantes con estrobo, ubicados estratégicamente alrededor de las salidas y zonas de evacuación que requieran ser señalizadas.

La norma NFPA 72 exige sobre pasar el ruido ambiente en 15 dBA, para modo público y 10 dBA para modo privado. Debido a que la alerta y notificación se realiza no solo al personal académico, sino a todo el personal ubicado al interior de la edificación se toma como requerimiento el valor de 10 dBA.

El sistema tiene la capacidad de entregar 6 mensajes pregrabados. Los mensajes para evacuación general identifican el sitio donde se presente algún evento y las salidas que deben ser tenidas en cuenta durante la evacuación para así minimizar la exposición al riesgo en la mayor medida y poder evacuar de manera ordenada y segura. El sistema de audio evacuación está diseñado conforme al principio de atención de eventos en zonas individuales o zonas múltiples por esta razón los mensajes serán proporcionados de manera general para todas las áreas.



Figura 18. Sistema de detección y alarma Simón Bolívar

2.3.1. ESTRUCTURA DE MENSAJES DE AUDIOEVACUACIÓN

El sistema audio evacuación cuenta con mensajes que al ser reproducidos duran un máximo de 30 segundos.

Para el diseño de los mensajes propuestos se han tomado en cuenta las siguientes prescripciones:

Se definen las zonas de la edificación en las cuales tiene la misma prioridad de alarma, sin embargo, los sistemas de audio evacuación de un único canal obligan a establecer prioridades diferentes para cada mensaje dependiendo del sitio de afectación, por tal motivo se organizan las zonas acordes a la O3, las cuales están definidas dada la cobertura de los dispositivos de audio evacuación.

ÁREA	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3
SB 101 sótano – almacén		X	
SB 102 CEIM – UP		X	
SB 103 Laboratorio de materiales			X
SB 104 sala de profesores			X
SB 105 Laboratorio de plásticos y mecanizados			X
SB 106 Sala de informática			X
SB 107 Laboratorio de simulación virtual			X
SB 108 Aula de clases			X
SB 109 Infraestructura tecnológica		X	
SB 110 Grupo de investigación GIBUP	X		
SB 111 Academia local CISCO	X		
Sb 112 Laboratorio de herramientas y maquinas	X		
Sb 113 Depósito	X		
Sb 114 Laboratorio de soldadura y troquelado	X		
Sb 115 Transformador		X	
Hall – Recepción		X	
Pasillos	X	X	X

Tabla 3. Zonas de evacuación

La activación de los mensajes se da a través de los dispositivos de entrada del sistema, dicha lógica se encuentra definida en la matriz causa efecto del sistema según la ubicación de todos los dispositivos de iniciación y el área que protegen.

El HMI del sistema de detección y alarma muestra la ubicación de los equipos y las señales de supervisión del sistema de audio-evacuación, esto se realiza a través de un despliegue con la posibilidad de validar el estado de las entradas y salidas correspondientes a los detectores, estaciones manuales y los mensajes asociados a ellos.

Los mensajes propuestos se presentan en la tabla 4.

Prioridad	Zona	Mensaje
1	Mensaje 1	“Atención, Atención, Atención. Este es el Sistema de emergencias Edificio Simón Bolívar. Identifique y diríjase a las salida CISCO o Puerta Principal, Se reporta un evento dentro del edificio”
2	Mensaje 2	“Atención, Atención, Atención. Este es el Sistema de emergencias Edificio Simón Bolívar. Identifique y diríjase a las salida Puerta Principal o Laboratorio de Simulación, Se reporta un evento dentro del edificio”
3	Mensaje 3	“Atención, Atención, Atención. Este es el Sistema de emergencias Edificio Simón Bolívar. Identifique y diríjase a las salida CISCO o Laboratorio de Simulación, Se reporta un evento dentro del edificio”
4	Mensaje 4	“Atención, Atención, Atención. Este es el Sistema de emergencias Edificio Simón Bolívar. Identifique y diríjase a las salida Puerta Principal, Se reporta un evento dentro del edificio”
5	Mensaje 5	“Atención, Atención, Atención. Este es el Sistema de emergencias Edificio Simón Bolívar. Identifique y diríjase a las salida CISCO, Se reporta un evento dentro del edificio”
6	Mensaje 6	“Atención, Atención, Atención. Este es el Sistema de emergencias Edificio Simón Bolívar. Identifique y diríjase a las salida Laboratorio de Simulación, Se reporta un evento dentro del edificio”

Tabla 4. Mensajes de audio evacuación

2.4. ESTADOS DE ALARMA, FALLA, NORMAL DEL SISTEMA DE DETECCIÓN Y ALARMA.

El sistema de detección y alarma deberá contar por lo menos con los siguientes estados de operación:

- Estado de espera o normal.
- Estado de alarma general.
- Estado de alarma por Fuego.
- Estado de alarma por detección de gas.
- Estado de pre-alarma por detección de humo o gas.

- Estado de activación del sistema de extinción.
- Estado de falla.

2.4.1. ESTADO DE ESPERA

En el estado de espera o normal del sistema monitorea de forma constante los detectores, dispositivos de notificación y componentes del sistema para poder mostrar en la interfaz hombre maquina (HMI) su funcionamiento en “tiempo real” en este estado no se debe mostrar ningún tipo de falla o alarma.

2.4.2. ESTADO DE ALARMA GENERAL

El estado de alarma general se presenta cada vez que se confirme una activación o generación de un evento de incendio, esta se verá reflejada mediante la activación de los dispositivos visuales/audibles.

El restablecimiento al estado de espera una vez superado el estado de alarma general solo podrá darse mediante el pulsador de restablecimiento (reset) del HMI.

2.4.3. ESTADO DE ALARMA POR HUMO/CALOR

El estado de alarma por humo se presenta cuando un detector de humo o temperatura se activa debido a la presencia de un incendio o evento que pueda generarlo. En el estado de Alarma por fuego se activa de forma inmediata la notificación de audio-evacuación del área que cubre el detector. También se activa la alarma indicadora de estado en el HMI.

El restablecimiento al estado normal solo es posible una vez superado el estado de alarma por humo/calor, mediante el pulsador de restablecimiento (reset) del tablero de control del sistema de detección y alarma, se reinicia el sistema pero entra nuevamente en alarma si la condición no ha sido superada.

2.4.4. ESTADO DE PRE-ALARMA POR DETECCIÓN DE GAS

El estado de pre-alarma por detección de gas se presenta cuando uno o más detectores de gas registran un nivel igual a 30% LEL e inferior a 70% LEL. En el estado de pre-alarma por presencia de gas se activa la alarma visual del HMI.

El restablecimiento al estado de espera una vez superado el estado de pre-alarma por gas podrá darse mediante un comando desde el HMI del sistema.

2.4.5. ESTADO DE ALARMA POR DETECCIÓN DE GAS

El estado de alarma por detección de gas se presenta cuando uno o más detectores de gas registran un nivel igual o mayor a 70% LEL. En el estado de Alarma por presencia de gas se activa de forma inmediata la notificación de audio-evacuación del área donde se encuentra el detector. También se activa la alarma visual del HMI.

El restablecimiento al estado normal solo es posible una vez superado el estado de alarma por gas, mediante el pulsador de restablecimiento (reset) del tablero de control del sistema de detección y alarma, se reinicia el sistema pero entra nuevamente en alarma si la condición no ha sido superada.

2.4.6. ESTADO DE ACTIVACIÓN DEL SISTEMA DE EXTINCIÓN DE INCENDIOS

El estado de activación del sistema de extinción de incendios se presenta cuando uno o más dispositivos de la zona se activan según la matriz causa efecto y la lógica determinada para el área en la que estos se encuentran. En el estado de activación del sistema de extinción de incendios se activa la alarma visual del HMI.

El restablecimiento al estado de espera una vez superado el estado de activación del sistema contra incendio podrá darse mediante un comando desde el HMI una vez se haya superado el evento.

2.4.7. ESTADO DE FALLA

El estado de falla del sistema de detección y alarma de incendios se presenta cuando cualquiera de los instrumentos o componentes asociados se encuentra en falla, el estado de falla indica en el HMI el dispositivo en falla mostrándolo en color magenta. En el estado de falla los dispositivos que no están involucrados en dicha falla seguirán operando y el sistema podrá ingresar a cualquiera de los otros estados de alarma o pre-alarma.

El restablecimiento al estado de espera una vez superado el estado de falla podrá darse de forma automática.

2.4.8. TIPOS DE SEÑALES A EMPLEAR

Una vez se tiene claro la filosofía de operación del sistema y los equipos requeridos para el correcto funcionamiento se toman de referencia las cantidades de la Tabla 5 para cuantificar la cantidad y tipo de señales necesarias.

DISPOSITIVO	DI	DO	AI
Detector de humo analógico			9
Detector de humo digital	7		
Detector térmico	5		
Detector de gas			2
Estación manual de alarma	6		
Válvula de diluvio		6	
Speaker / Strobe		1	
TOTALES	18	7	11

Tabla 5. Señales requeridas en el sistema

3. DISEÑO DEL SISTEMA DE EXTINCIÓN

En el siguiente capítulo se describe brevemente la forma con la que se define el sistema de extinción basado en válvulas de diluvio, esto con el fin de poder sectorizar los escenarios de riesgo de manera académica, teniendo como premisa que el costo de estos equipos ante una eventual implementación es bastante sustancial.

De igual forma, se determina la configuración, básica y filosofía de operación del sistema teniendo en cuenta que será un complemento del sistema de detección y alarma de incendio.

Se contempla la protección de las áreas comprendidas por el primer piso del edificio Simón Bolívar de la Universidad de Pamplona, mediante un sistema de extinción a base de agua, sistema de iniciación por detectores de humo, térmico y gas como se evidenció en el capítulo anterior, siendo complementados por activación manual y notificación de mensajes de audio-evacuación.

Este capítulo no comprenderá el diseño, calculo, dimensionamiento de redes y flujos de equipos como bombas, factor de descarga de rociadores y demás equipos necesarios para un funcionamiento totalmente acorde a la norma NFPA 13 “Standard for the Installation of Sprinkler Systems.”, esto teniendo en cuenta que no se establece como parte del alcance principal del objeto del trabajo.

3.1. SISTEMA DE EXTINCIÓN Y CONTROL A BASE DE AGUA

Este tipo de sistema tiene como especialidad la mitigación de forma rápida y segura de un evento de incendio o conato a partir del principio de sofocación y enfriamiento. Como es sabido el agua es la sustancia más abundante en la tierra y de las más versátiles en aplicaciones en la prevención de incendios por ser una de las más efectivas en esta lucha.

Este sistema está basado en la ubicación de rociadores de tipo seco comandados por válvulas de diluvio que darán corte al agua, empleado para simular el sistema de extinción ante un evento de incendio en cada una de las zonas seleccionadas para la protección.

3.1.1. ESTRATEGIAS DE PROTECCIÓN

A continuación, se precisan los dispositivos de descarga y control para cada escenario según la tabla de riesgos descritos en el capítulo anterior.

ESCENARIO	ROCIADORES	EXTINTORES PORTATILES	ACTIVACIÓN MANUAL
SB 101 sótano - almacén		X	
SB 102 CEIM – UP		X	
SB 103 Laboratorio de materiales	X		X
SB 104 sala de profesores		X	
SB 105 Laboratorio de plásticos y mecanizados	X		X
SB 106 Sala de informática	X		X
SB 107 Laboratorio de simulación virtual	X		X
SB 108 Aula de clases	X		X
SB 109 Infraestructura tecnológica		X	
SB 110 Grupo de investigación GIBUP	X		X
SB 111 Academia local CISCO	X		X
Sb 112 Laboratorio de herramientas y maquinas	X		X
Sb 113 Depósito	X		X
Sb 114 Laboratorio de soldadura y troquelado	X		X
Sb 115 Transformador	X		X
Hall - Recepción	X		X
Pasillos	X		X

Tabla 6. Delimitación de áreas con sus protecciones

3.1.1.1. ROCIADORES ABIERTOS

Teniendo en cuenta el evento de incendio esperado por ignición de gases inflamables y la gran cantidad de almacenamiento de material inflamable como equipos electrónicos, cartón y madera dentro de las distintas aulas a proteger en el primer piso del edificio Simón Bolívar, aplica el uso de sistemas fijos con rociadores abiertos, los cuales están sectorizados con válvulas de diluvio para controlar el flujo a cada una de las áreas objeto de la protección, para el caso del SB-112 y SB-114 por ser laboratorios que cuentan con presencia de gas metano por las actividades propias del desarrollo se puede aprovechar el uso de este tipo de sistemas para mitigar una eventual nubosidad de gas explosivo que llegue a superar el LEL (Límite inferior de explosividad) del 70%.

Los sistemas fijos con rociadores se plantean para proteger cada una de las áreas designadas en este proyecto donde la función principal es proteger la vida del ocupante y cubrir la salida de manera segura del lugar en el que se presente el evento de incendio.



Figura 19. Rociadores abiertos de montaje

Fuente: Hoja de datos del rociador abierto Viking

3.1.2. ESPECIFICACIÓN DEL SISTEMA DE EXTINCIÓN

3.1.2.1. SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

El sistema de distribución comprende la tubería y sus accesorios entre la descarga de las bombas. El dimensionamiento de tuberías debe garantizar las condiciones de presión y caudal en los dispositivos de descarga con propósito de cumplir los requerimientos en cada escenario y las tasas mínimas de aplicación fijadas por las normas NFPA.

El material de las tuberías se establece de la siguiente manera:

- Acero al carbono para tuberías húmedas.
- Acero galvanizado para tuberías secas que manejen agua o espuma.

El diseño e instalación de la red de tuberías y accesorios debe cumplir los lineamientos de la norma NFPA 24.

3.1.3. FILOSOFÍA DE OPERACIÓN DEL SISTEMA DE EXTINCIÓN CON AGUA.

Todas las válvulas que comandan la descarga de los sistemas son activadas por una señal de descarga proveniente de los sistemas de detección automática de humo, calor y gas o a través de la confirmación manual.

Debido a las limitaciones de espacio, se ha considerado la ubicación el manifold de válvulas en las afueras de la edificación, estos equipos contra incendio se hallan en cercanía a las áreas normalmente ocupadas y por ello se recomienda en un cuarto cerrado de mampostería que debe garantizar la operación segura del sistema contra incendio.

En un caso real las bombas contra incendio operan de manera automática por caída de presión en la red (Ejm: Apertura de un monitor, apertura de un sistema de agua pulverizada, etc.) mediante lógica establecido en su respectivo controlador.

Las bombas tendrán programado de manera permanente el modo automático para arrancar por caída de presión y detenerse cuando el sistema se lleve a condición normal (Cierre de equipos de descarga y presurización de la red) por parte de los operadores y se accione el mando de apagado en el gabinete del controlador.

La secuencia planteada para arranque de las bombas es la siguiente:

- Bomba jockey: Si la presión en la red cae, se enciende la bomba jockey hasta nivelar la presión y en esa instancia se detiene la bomba.
- Bomba contra incendio principal: Si la presión del sistema cae, se debe encender la bomba principal eléctrica.
- Bomba contra incendio de respaldo: Si la bomba principal falla o la presión continúa cayendo; debe entrar en operación la bomba diésel.

El apagado de las bombas contra incendio es manual, no se establece la función de apagado automático desde el panel controlador de la bomba.

Una vez familiarizados con los componentes mínimos funcionales de un sistema de extinción se describe de manera breve como se ha determinado el funcionamiento del sistema.

Teniendo como partida el manifold de válvulas se ha determinado la necesidad de emplear mínimo seis (6) válvulas de diluvio que serán las encargadas de sectorizar el paso del agua a los riesgos según el caso.

La activación de estas válvulas está estrecha y directamente ligada con la instrumentación encargada de la detección de cualquier evento de incendio y la zona en la que este se encuentre ubicado.

Para esto se han delimitado tres zonas principales Figura 18, estas se caracterizan por ser cada una de las salidas con las que cuenta el primer piso del edificio Simón Bolívar de la Universidad de Pamplona.

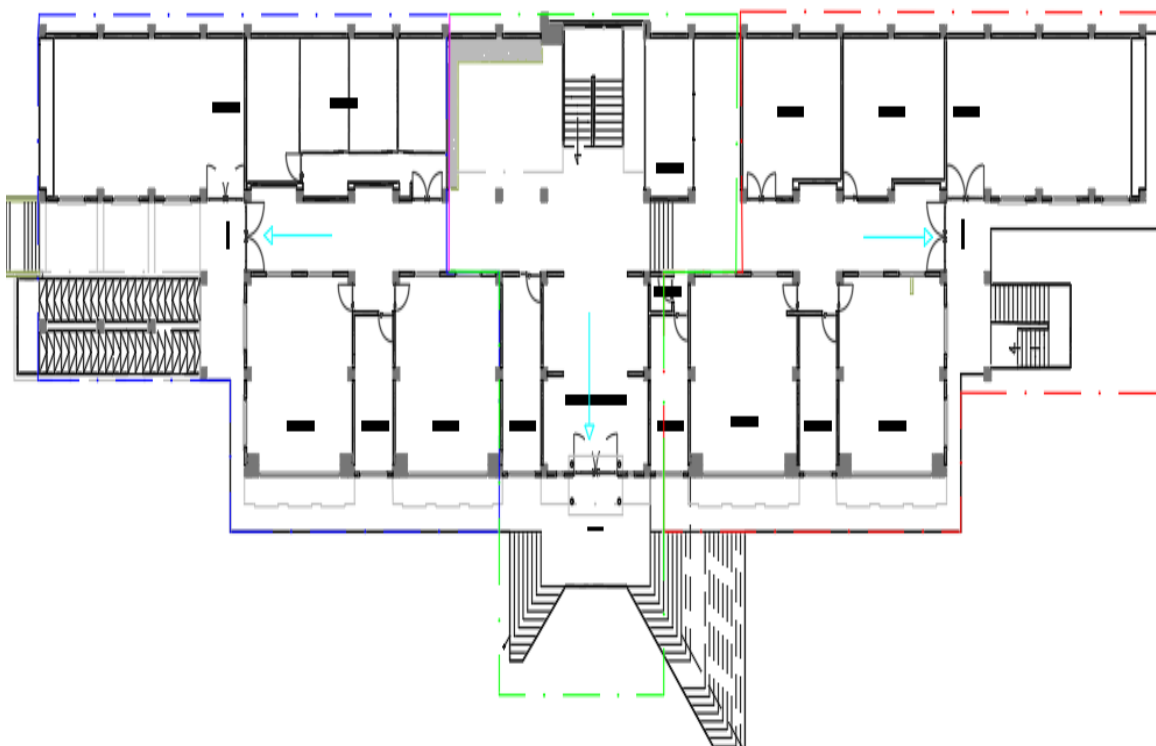


Figura 20. Distribución de áreas de riesgo según salidas

Luego de conocer las estas tres salidas y determinar la ubicación de los rociadores sectorizados por cada válvula de diluvio se encuentra que la funcionalidad del sistema debe basarse en la protección de la ruta de evacuación del personal como primera medida y luego enfocarse en la mitigación del evento de incendio, pasando a un segundo plano la posibilidad de cuidar los bienes.

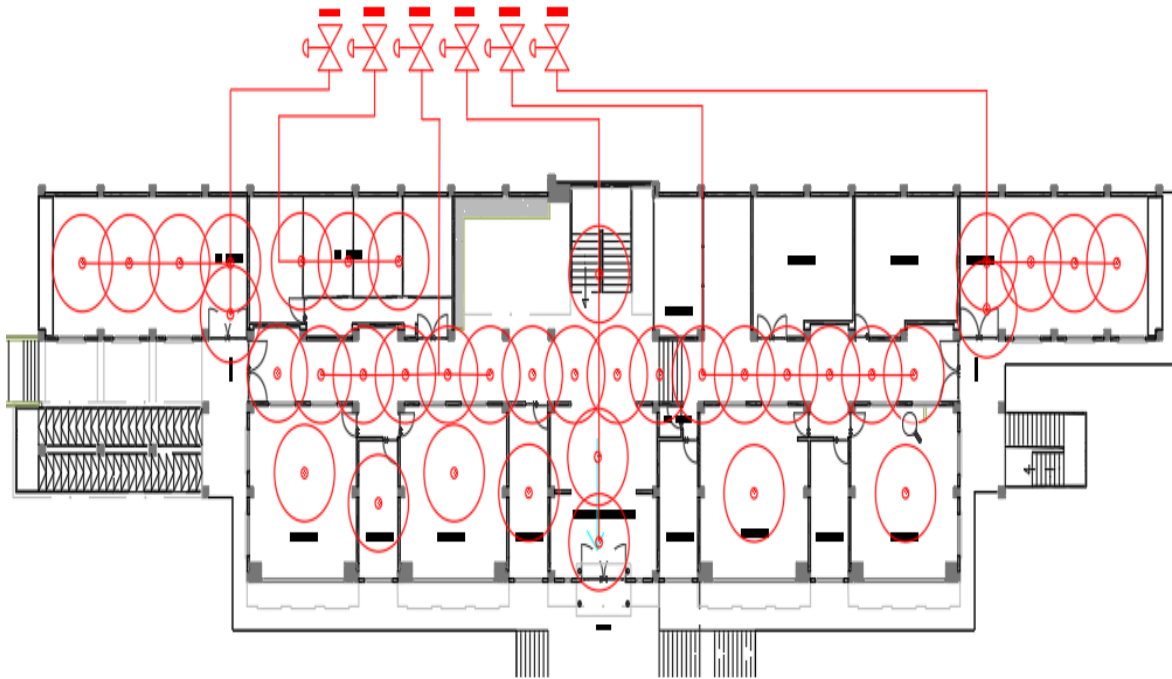


Figura 21. Distribución de Manifold de Válvulas y Rociadores

La distribución de las válvulas y su activación podrá ser visualizado en el HMI al igual que se mostrarán los rociadores en estado activo una vez la válvula de diluvio permita el paso de agua una vez la instrumentación del sistema detección automático o manual envíe la señal de descarga.

4. MATRIZ CAUSA EFECTO

4.1. SALA DE INFORMATICA SB-106, GIBUP SB-110, CISCO SB-111

Las aulas mencionadas en el índice 3.1.1 tienen la particularidad de contar con sistemas de detección de humo con lógica difusa, estos tres recintos envían señal de activación al sistema de audio evacuación y de extinción dependiendo de los valores presentes al momento de su activación.

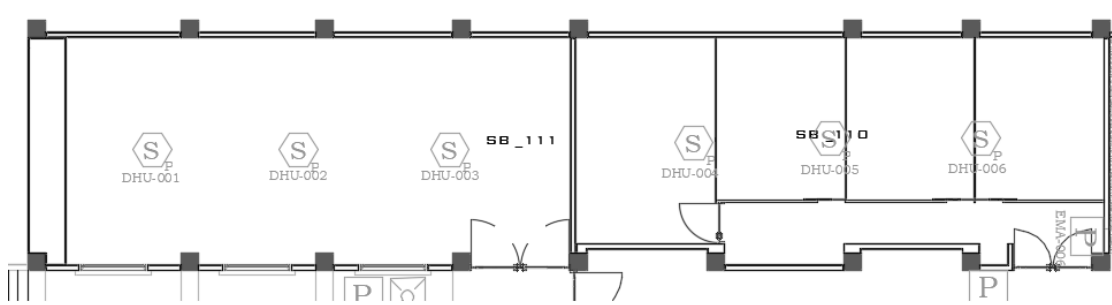


Figura 22. Detección de humos en SB-110/111

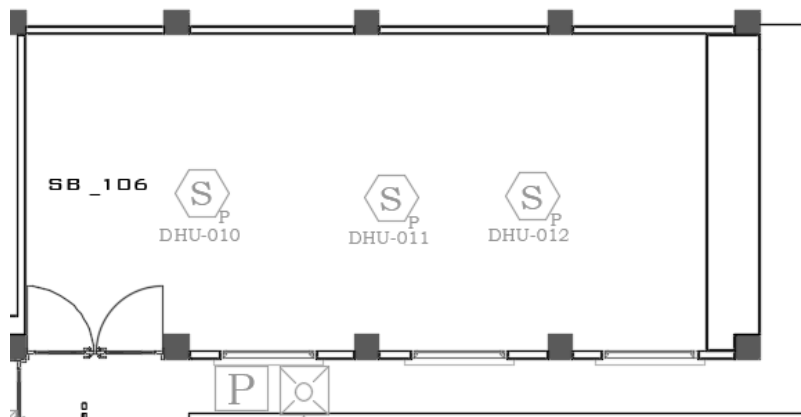


Figura 23. Detección de humos en SB-106

En las figuras anteriores se pueden observar tres detectores por recinto, estos generan las señales de activación por lógica difusa XZ1, XZ2 y XZ3 (ver matriz causa efecto), por esta razón se considera más de un parámetro de activación en los sensores del sitio para dar confirmación a los sistemas de audio-evacuación y extinción, esta determinación se toma según el valor medio o alto en el nivel de humo presente en el detector.

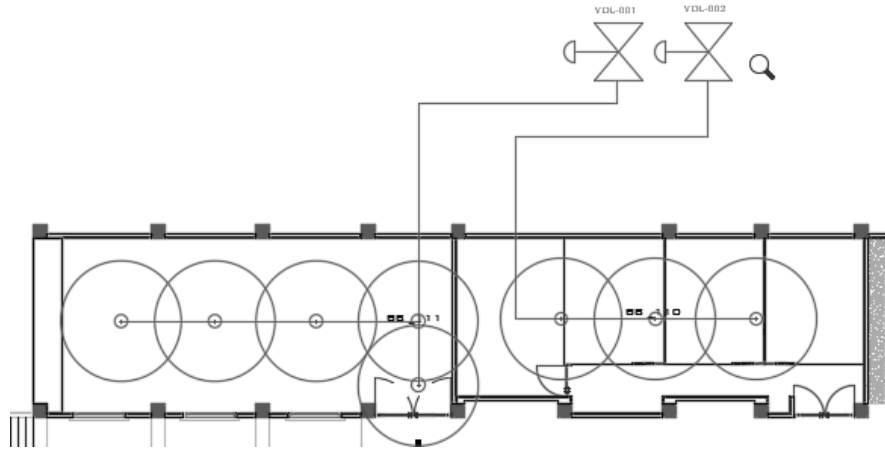


Figura 24. Sistema de extinción en SB-110/111

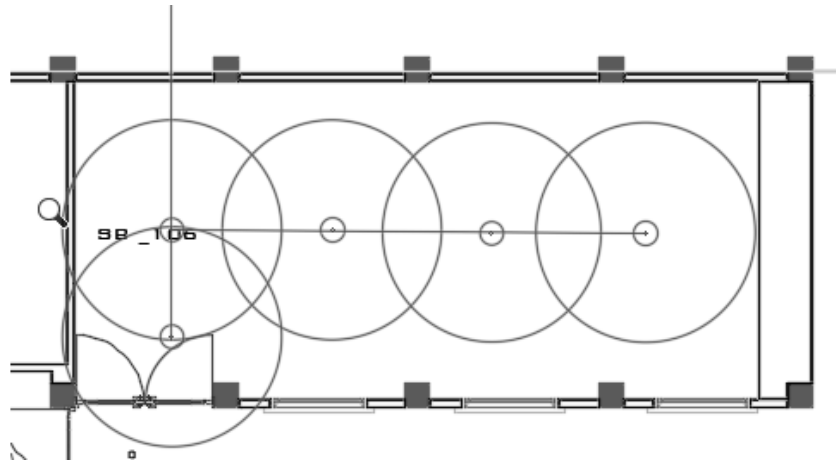


Figura 25. Sistema de extinción en SB-106

4.2. TALLERES SB-112/114

En los talleres la inferencia lógica se realiza con un sensor de gas metano debido a la presencia de líneas de gas natural dentro del recinto, estas son focos posibles de riesgo al poder presentar fugas que rápidamente lleguen a una concentración peligrosa de LEL, teniendo como premisa esto se encuentran dos escenarios para el SB-112 y SB-114, el primero sería el incremento en la nubosidad de gas a razón de la fuga y el segundo sería un escenario en el que el evento de incendio se diera por la combustión de los materiales presentes debido a las actividades desarrolladas con habitualidad, en este caso una fuga de gas no sería la razón del incendio, para esto tendríamos que precisar el uso de un detector de tipo térmico para complementar el sistema propuesto, estos dos equipos pueden ser usados en simultaneo pero no pueden ser cruzados dentro de una lógica como se hace en el caso de los detectores de humo analógicos previamente analizados, la razón es muy sencilla y es que un evento de fuga de gas no necesariamente está

acompañado de calor es más, la reacción térmica serian consecuencia de una explosión, así mismo para que el detector térmico funcioné ya tendría que haber dicha explosión o incendio de manera independiente.

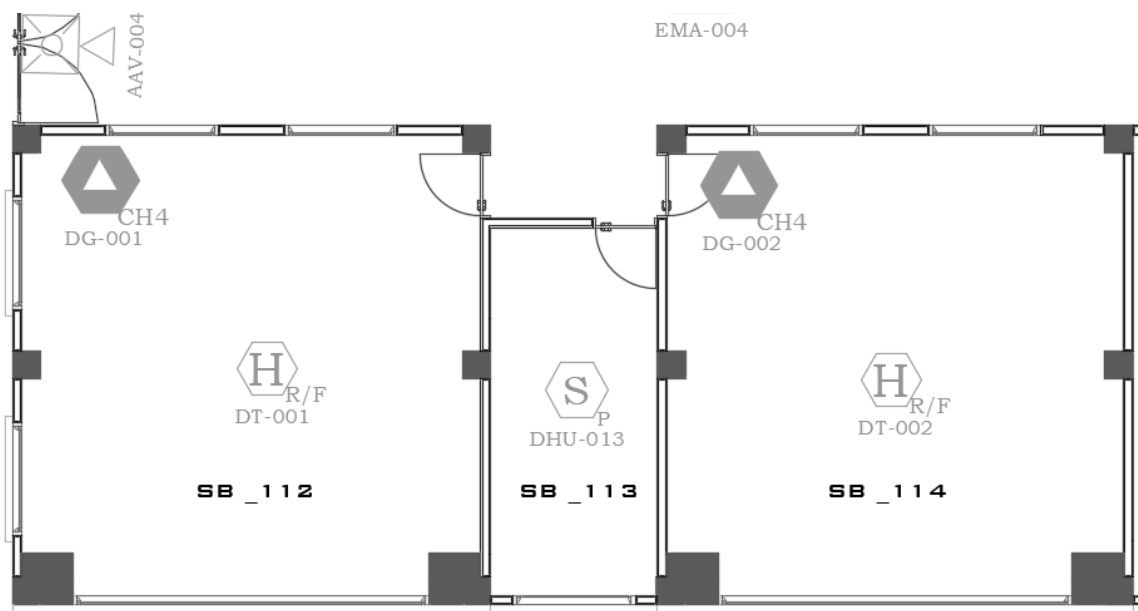


Figura 26. Sistema de detección en talleres de mecánica SB-112/114

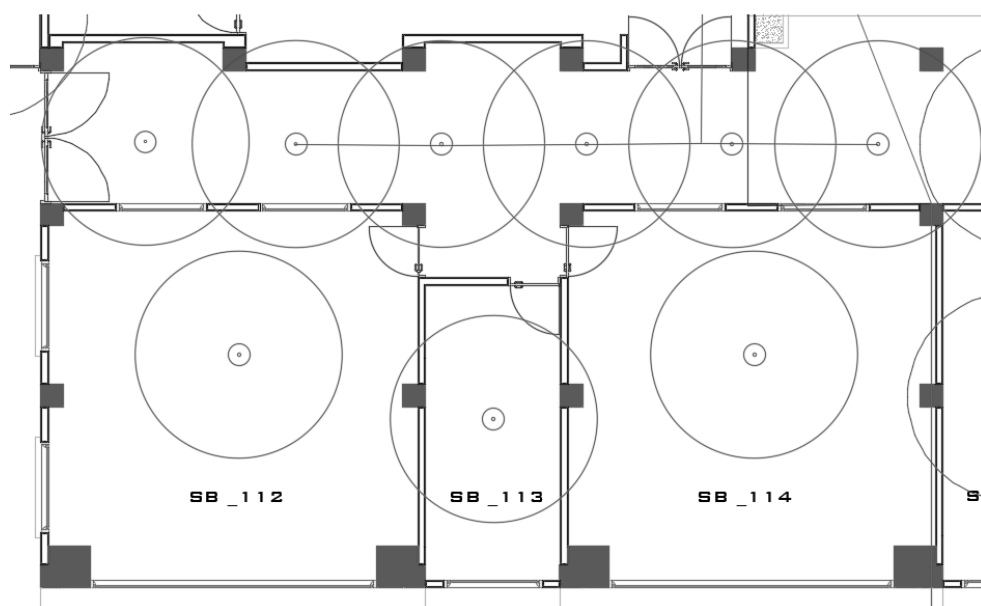


Figura 27. Sistema de extinción SB-112/114

4.3. HALL RECEPCIÓN, SB-102/109/115

En la parte central se encuentra el SB-102/109/115 y el Hall principal estas áreas están protegidas por detección térmica, detección por humo y detección manual,

cualquiera de estos eventos genera la activación directa de los equipos de audio evacuación y extinción para esta área.

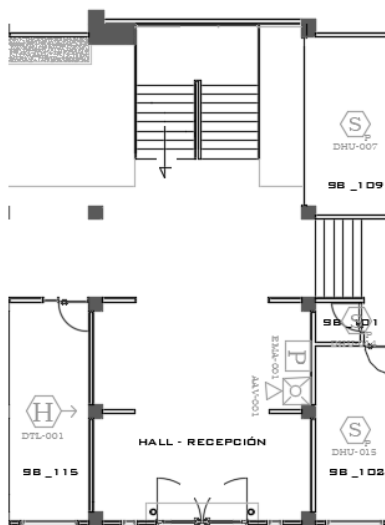


Figura 28. Sistema de detección SB-102/109/115

Al igual que las zonas anteriormente descritas esta área cuenta con una válvula de diluvio dedicada para la activación del sistema de extinción de manera focalizada en los puntos allí mostrados.

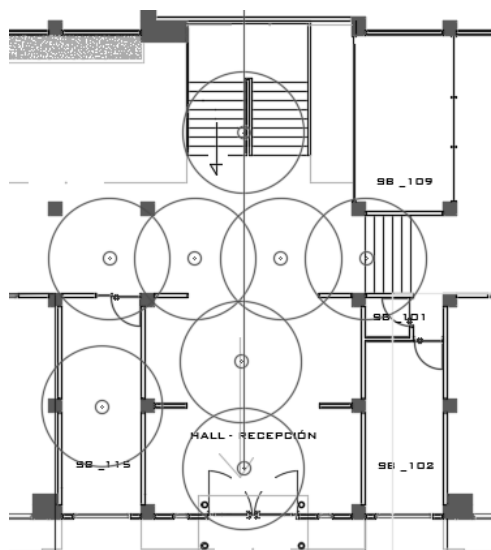


Figura 29. Sistema de extinción SB-102/109/115

4.4. LABORAROTORIOS SB-103/105 DEPOSITO SB-104, AULAS SB107/108

Los dispositivos de detección y alarma mostrados para esta zona de la edificación también cuentan con una lógica de activación directa, que genera una señal sobre el sistema de audio evacuación y el sistema de extinción.

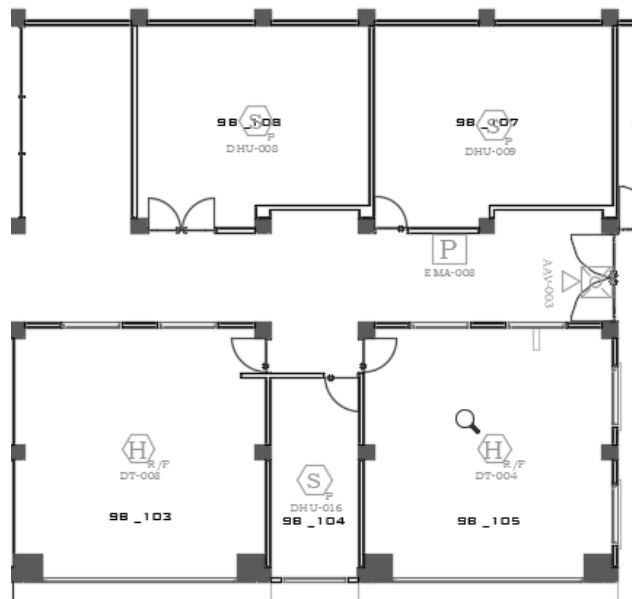


Figura 30. Sistema de detección SB-103/104/105/107/108

AL igual que el sistema anterior esta área cuenta con una válvula de diluvio que secciona la descarga del sistema de extinción, las aulas 107 y 108 se consideran de poco riesgo por tal razón no se contempla el uso de rociadores en estas áreas y si en sus rutas de evacuación.

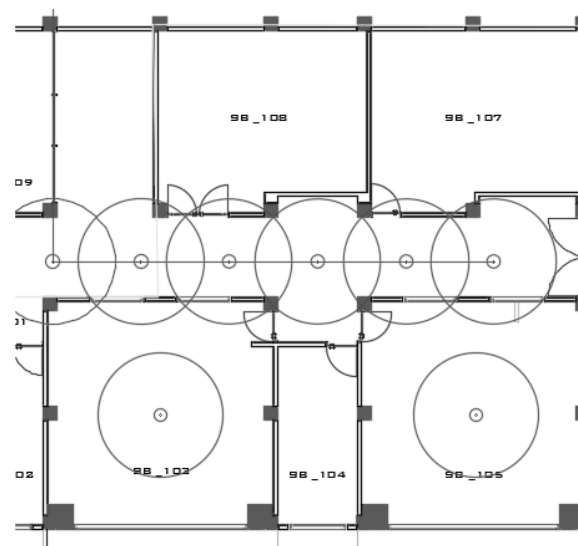


Figura 31. Sistema de extinción SB-103/105 y pasillo

4.5. SELECCIÓN DE LOS MENSAJES DE EVACUACIÓN

Para poder determinar la forma en la que se activan los mensajes de audio-evacuación y delimitar así la matriz causa efecto correspondiente a la lógica de funcionamiento se analizan una serie de casos basados en los dispositivos de entrada y salida, para este proceso se emplean las salidas en función de las entradas para definir los parámetros que determinan el mensaje que debe ser emitido.

DISPOSITIVO	CASO	DESCRIPCIÓN
VDL-1/2/3	CASO 1 – MENSAJE 1	Sensores correspondientes a las áreas SB-110/111/112/113/114
VDL-4	CASO 2 – MENSAJE 2	Dispositivos en Hall y SB-109
VDL-5/6	CASO 3 – MENSAJE 3	Sensores SB-103/104/105/106/107/108
CASO 1/2	CASO 4 – MENSAJE 4	Se debe cumplir condiciones del caso uno y caso dos
CASO 1/3	CASO 5 – MENSAJE 5	Se debe cumplir condiciones del caso uno y caso tres
CASO 2/3	CASO 6 – MENSAJE 6	Se deben cumplir condiciones del caso dos y caso tres

Tabla 7. Lógica de selección mensajes audio-evacuación

CAUSA			EFFECTO				FACP-001			PISO 1				
TAG	ESTADO	DESCRIPCIÓN	NOTA	Alarma	Supervisión	Falla	Ítem	TAG	DESCRIPCIÓN	ACCIÓN	ÁREA			
DISEÑO DE SISTEMA DE DETECCIÓN Y ALARMA DE INCENDIOS CON LÓGICA DIFUSA PARA DETERMINACIÓN DE RUTAS DE EVACUACIÓN Y ACTIVACIÓN DE SISTEMAS DE ROCIADORES EN EDIFICIO			MATRIZ CAUSA - EFECTO SISTEMA DETECCIÓN Y ALARMA EDIFICIO SIMON BOLIVAR - UNIPAMPLONA				DOCUMENTO				MATRIZ CAUSA EFECTO			
														

		local CISCO SB-111																				
DHU-002	Alarma	Detector de humo 002 - Academia local CISCO SB-111	1	X		X			X	XZ1	XZ1			XZ1	XZ1		XZ1					
DHU-003	Alarma	Detector de humo 003 - Academia local CISCO SB-111	1	X		X			X	XZ1	XZ1			XZ1	XZ1		XZ1					
DHU-004	Alarma	Detector de humo 004 - GIBUP SB-110	2	X		X			X	XZ2	XZ2			XZ2	XZ2			XZ2				
DHU-005	Alarma	Detector de humo 005 - GIBUP SB-110	2	X		X			X	XZ2	XZ2			XZ2	XZ2			XZ2				
DHU-006	Alarma	Detector de humo 006 - GIBUP SB-110	2	X		X			X	XZ2	XZ2			XZ2	XZ2			XZ2				
DHU-007	Alarma	Detector de humo 007 - Infraestructura Tecnológica SB-109		X		X			X	X		X		X		X			X			
DHU-008	Alarma	Detector de humo 008 - Salón SB-108		X		X			X	X			X		X	X				X		
DHU-009	Alarma	Detector de humo 009 - Simulación Virtual SB-107		X		X			X	X			X		X	X				X		
DHU-010	Alarma	Detector de humo 010 - Sala de Informática SB-106	3	X		X			X	XZ3			XZ3		XZ3	XZ3						XZ3
DHU-011	Alarma	Detector de humo 011 - Sala de Informática SB-106	3	X		X			X	XZ3			XZ3		XZ3	XZ3						XZ3
DHU-012	Alarma	Detector de humo 012 - Sala de informática SB-106	3	X		X			X	XZ3			XZ3		XZ3	XZ3						XZ3
DHU-013	Alarma	Detector de humo 013 - Deposito SB-113		X		X			X	X		X		X	X			X				
DHU-014	Alarma	Detector de humo 014 - Sótano / Almacén SB-101		X		X			X	X		X		X		X			X			

DHU-015	Alarma	Detector de humo 015 - CEIM-UP SB-102		X		X			X	X		X		X					X		
DHU-016	Alarma	Detector de humo 016 - Sala de profesores SB-104		X		X			X	X		X		X	X					X	
DT-001	Alarma	Detector térmico 001 - Laboratorio de herramientas y máquinas SB-112		X		X			X	X			X	X				X			
DT-002	Alarma	Detector térmico 002 - Laboratorio de Soldaduras y troquelado SB-114		X		X			X	X			X	X				X			
DT-003	Alarma	Detector térmico 003 - Laboratorio de Materiales SB-103		X		X			X	X			X		X	X				X	
DT-004	Alarma	Detector térmico 004 - Laboratorio de plásticos y mecanizados SB-105		X		X			X	X			X		X	X				X	
DTL-001	Alarma	Detector térmico Lineal 001 - Recinto Subestación - SB-115		X		X			X	X			X		X				X		
EMA-001	Alarma	Estación manual de alarma 001 - Recepción Vigilante		X		X			X	X			X		X				X		
EMA-002	Alarma	Estación manual de alarma 002 - Entrada SB-106		X		X			X	X			X		X	X					X
EMA-003	Alarma	Estación manual de alarma 003 - Salida Lateral Pasillo Derecha		X		X			X	X			X		X	X				X	
EMA-004	Alarma	Estación manual de alarma 004 - Entrada SB-110		X		X			X	X			X	X		X					
EMA-005	Alarma	Estación manual de alarma 005 - Entrada Academia Local CISCO SB-111		X		X			X	X			X	X		X					
EMA-006	Alarma	Estación manual de alarma 006 - Gibup SB-110		X		X			X	X			X	X			X				

DG-001-A	Alarma	Alarma Detector de Gas 001 - Laboratorio de Herramientas y Máquinas SB-112		X					X	X	X			X	X				X			
DG-001-S	Supervisión	Supervisión Detector de Gas 001 - Laboratorio de Herramientas y Máquinas SB-112			X				X													
DG-001-F	Falla	Falla Detector de Gas 001 - Laboratorio de Herramientas y Máquinas SB-112				X			X													
DG-002-A	Alarma	Alarma Detector de Gas 002 - Laboratorio de Soldadoras y Troquelados SB-114		X					X	X	X			X	X				X			
DG-002-S	Supervisión	Supervisión Detector de Gas 002 - Laboratorio de Soldadoras y Troquelados SB-114			X				X													
DG-002-F	Falla	Falla Detector de Gas 002 - Laboratorio de Soldadoras y Troquelados SB-114				X			X													
NOTAS																						
NOTA 1:	TODAS LAS ACCIONES SERAN REFLEJADAS ENE EL HMI																					
NOTA 2:	XZ1: ACTIVACIÓN POR LÓGICA DIFUSA EN ACADEMIA LOCAL CISCO																					
NOTA 3:	XZ2: ACTIVACIÓN POR LÓGICA DIFUSA EN GIB-UP																					
NOTA 4:	XZ3: ACTIVACIÓN LÓGICA DIFUSA EN SALA DE INFORMATICA SB-106																					
NOTA 5:	X: ACTIVACIÓN DIRECTA																					

Tabla 8. Matriz causa efecto general del sistema

5. CAPITULO DISEÑO DE LA LÓGICA DIFUSA

Los sistemas contra incendios tradicionales emplean sensores digitales que impiden el monitoreo y limitan la utilización de la lógica de clásica, por lo cual crear una inferencia de forma adecuada presenta dificultades donde el presente trabajo pretende emplear la lógica difusa para inferir de forma adecuada el accionamiento del sistema contra incendios y de audio evacuación ya que crea escenarios adicionales que aumentan la precisión del sistema.

Las entradas de los sensores son de tipo numérico al provenir de sensores analógicos, donde el difusor se encarga de convertir las señales de los sensores en conjuntos difusos con valores lingüísticos que ingresan a la máquina de inferencia apoyado por las reglas lógicas para convertir esto en un nuevo conjunto difuso que el congresor convierte en una señal concreta de una salida numérica precisa con la que se toman decisiones de accionamiento del sistema contra incendio [2].

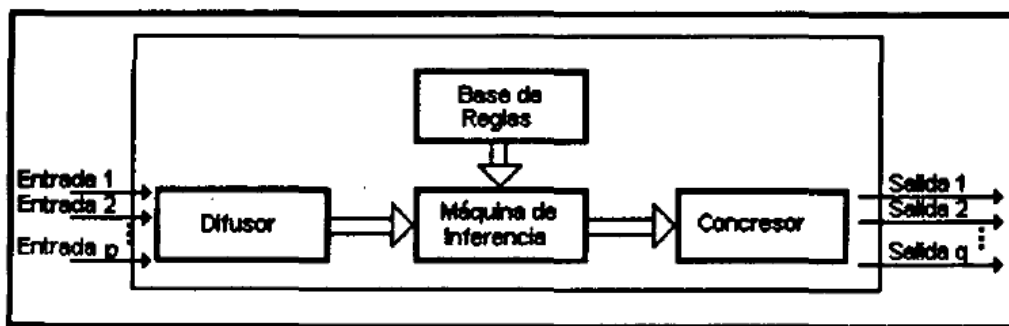


Figura 32. Estructura de un sistema de lógica difusa

Fuente: sistemas de lógica difusa. Fundamentos, Oscar G. Duarte V., revista Ingeniería e Investigación N42 abril de 1999.

5.1. SISTEMAS DIFUSOS EN LAS AULAS SB – 106/110/111

Este trabajo está enfocado en la implementación de la lógica difusa en tres focos de interés diseñados bajo la norma NFPA, estas aulas o áreas son el SB-106 Sala de informática, SB-110 Grupo de investigación de Ingeniería en Telecomunicaciones más conocido como GIBUP y SB-111 Academia Local CISCO

5.1.1. SISTEMA DIFUSO DE MÚLTIPLES ENTRADAS Y DE SALIDA ÚNICA (SISTEMA MISO)

Un sistema es una combinación de componentes que en su conjunto operan sobre un vector de funciones de entrada de tiempo $x(t) \in \mathbb{R}^n$ para cada t para producir un vector de funciones de salida de tiempo $y(t) \in \mathbb{R}^m$ para cada t . Un sistema difuso es un sistema que utiliza lógica difusa para operar en la entrada $x(t)$ para producir la salida nítida $y(t)$. Se puede demostrar que un sistema difuso con n entradas y m salidas (es decir, un sistema difuso de múltiples entradas y salidas múltiples o MIMO) es equivalente a m sistemas difusos, cada uno con n entradas y una salida (es decir, un sistema difuso de múltiples entradas sistemas difusos de salida única o MISO) [2].

El sistema contra incendios tienen n entradas $x_i \in X_i$, donde $i = 1, 2, 3$ y X_i es el universo del discurso para x_i , y una salida $y \in Y$, donde Y es el universo del discurso para y [2].

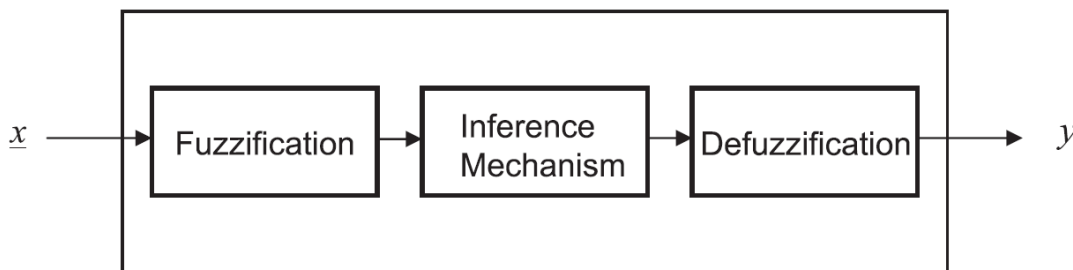


Figura 33. Estructura de un sistema difuso

Las funciones de membrecías o también conocidas como funciones de referencia, son fundamentales en la selección donde algunos autores han propuesto la sincronización exacta para mejorar la estabilidad con resultados enfocados en los beneficios de las funciones adaptables totalmente como lo es la distribución Gausseana [7], pero para sistemas no modelados las experiencias en aplicaciones indican buenos resultados con señales triangulares y trapezoidales siendo las de mejores resultados las señales trapezoidales [8].

Los sistemas difusos de Mamdani se pueden utilizar para formular compensadores que se basan en el sentido común del usuario sobre cómo controlar un sistema. Este tipo de controlador no necesita un modelo matemático del sistema, por lo que no se basa en un modelo. Su diseño se basa más bien en conocimientos expertos [2].

Se selecciona los sistemas difusos de Mamdani tienen conjuntos difusos en sus consecuentes reglas, a diferencia de los sistemas difusos de Takagi-Sugeno [2], que tienen expresiones matemáticas en sus consecuentes reglas. Consideramos la interconexión más común para el seguimiento: retroalimentación unitaria con un

controlador difuso en cascada con la planta. El control difuso no se basa en modelos, es decir, su diseño no depende de un modelo matemático de la planta, sino del sentido común y la experiencia pasada del diseñador con el proceso que se está controlando [2].

TAKAGI – SUGENO Los sistemas difusos Takagi-Sugeno (T-S) son más generales que los sistemas difusos Mamdani, En los sistemas T - S, las consecuencias de las reglas no implican conjuntos difusos como los sistemas Mamdani, sino que son expresiones matemáticas. Las expresiones matemáticas pueden ser funciones lineales de cualquier variable.

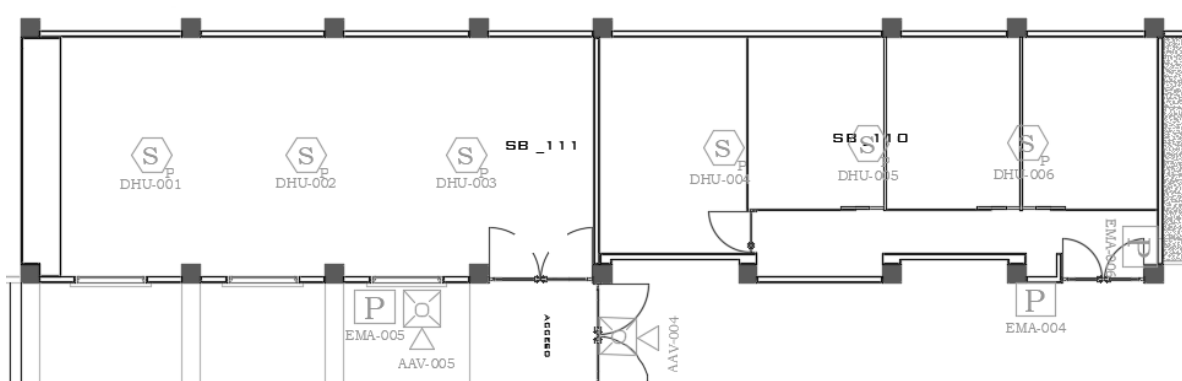


Figura 34. Equipos de detección y alarma en SB-110/111

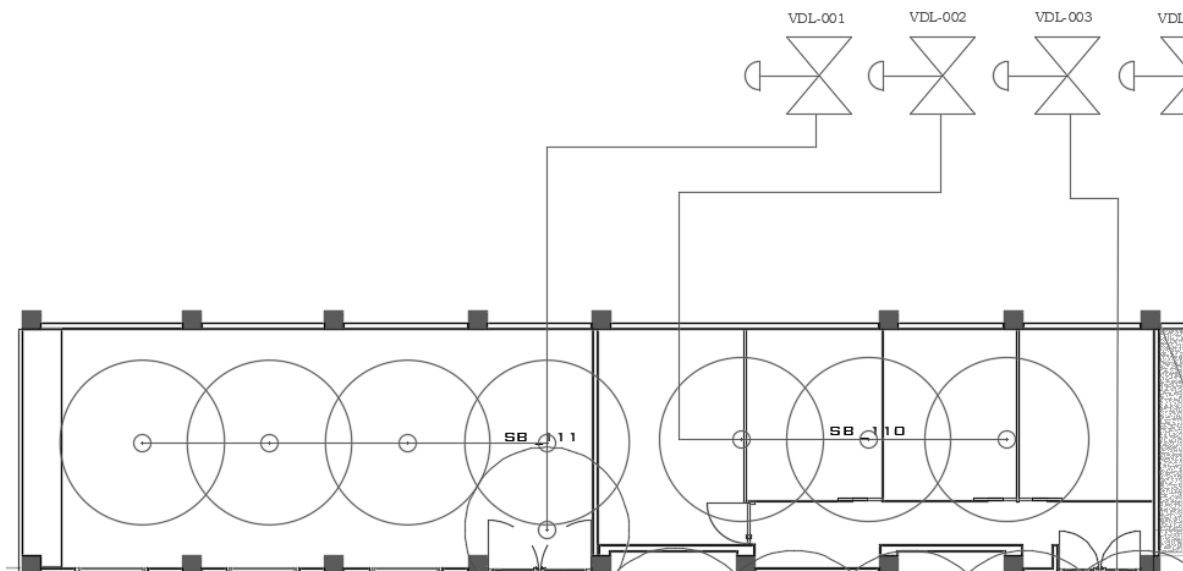


Figura 35. Sistema de extinción SB-110/111

5.1.1.1. CONJUNTOS DIFUSOS SENSORES DE HUMO

Partiendo de la premisa de la generalidad que proporciona el sistema Mamdani, podemos aprovechar esto junto con la experticia del diseñador o conocimiento previo en el diseño o especificación de sistemas de esta índole y así poder establecer los rangos de medida y activación de los sistemas.

Para esto se determinan tres casos BAJO, MEDIO, ALTO en los cuales se establecen parámetros de diseño definidos por la selección de los equipos de sensado, que para el caso en específico se trata de Detectores de humo fotoeléctricos con capacidad de entrega de señal analógica.

Para realizar la inferencia lógica se emplea el operador AND “las expresiones de implicación, útiles para efectuar inferencias lógicas, son en realidad operadores AND,” [10] que correspondería a la operación de intercepción de los conjuntos difusos de los sensores de entrada, donde al tratarse de 3 sensores con tres membresías se obtienen 27 reglas presentadas en la tabla 9.

Regla	DHU-00X	DHU-00X	DHU-00X	Salida
1	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
2	Bajo	Bajo	Medio	Bajo
3	Bajo	Bajo	Alto	Medio
4	Bajo	Medio	Bajo	Bajo
5	Bajo	Medio	Medio	Medio
6	Bajo	Medio	Alto	Alto
7	Bajo	Alto	Bajo	Medio
8	Bajo	Alto	Medio	Alto
9	Bajo	Alto	Alto	Alto
10	Medio	Bajo	Bajo	Bajo
11	Medio	Bajo	Medio	Medio
12	Medio	Bajo	Alto	Alto
13	Medio	Medio	Bajo	Medio
14	Medio	Medio	Medio	Alto
15	Medio	Medio	Alto	Alto
16	Medio	Alto	Bajo	Alto
17	Medio	Alto	Medio	Alto
18	Medio	Alto	Alto	Alto
19	Alto	Bajo	Bajo	Medio
20	Alto	Bajo	Medio	Alto
21	Alto	Bajo	Alto	Alto
22	Alto	Medio	Bajo	Alto
23	Alto	Medio	Medio	Alto
24	Alto	Medio	Alto	Alto
25	Alto	Alto	Bajo	Alto
26	Alto	Alto	Medio	Alto
27	Alto	Alto	Alto	Alto

Tabla 9. Combinación de las 27 reglas obtenidas

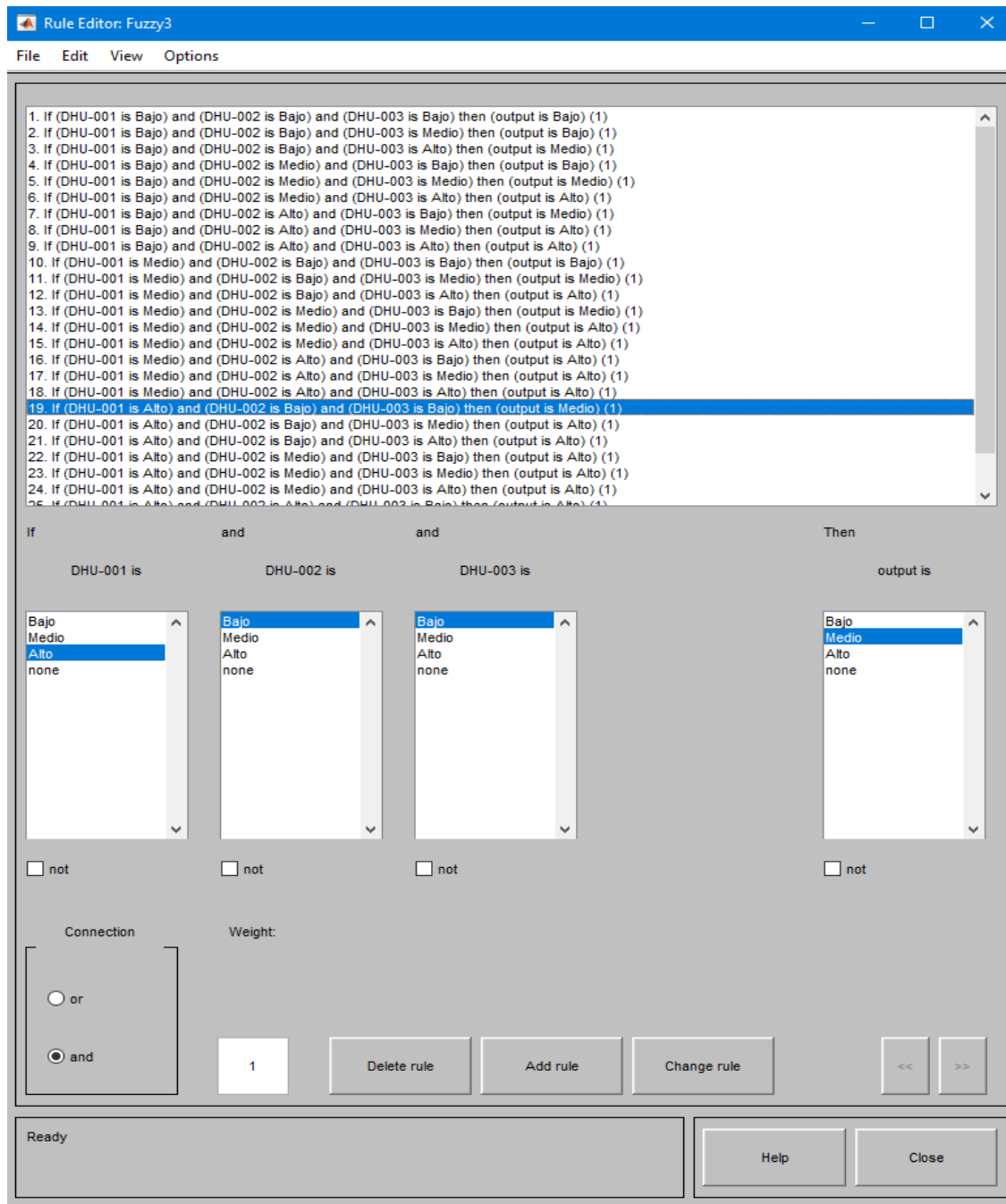


Figura 36. Inclusión de reglas en el editor del Fuzzy Control

Una vez obtenida la matriz de reglas y al implementar la toolbox de MATLAB para control difuso se representan en sus tres estados de la siguiente forma.

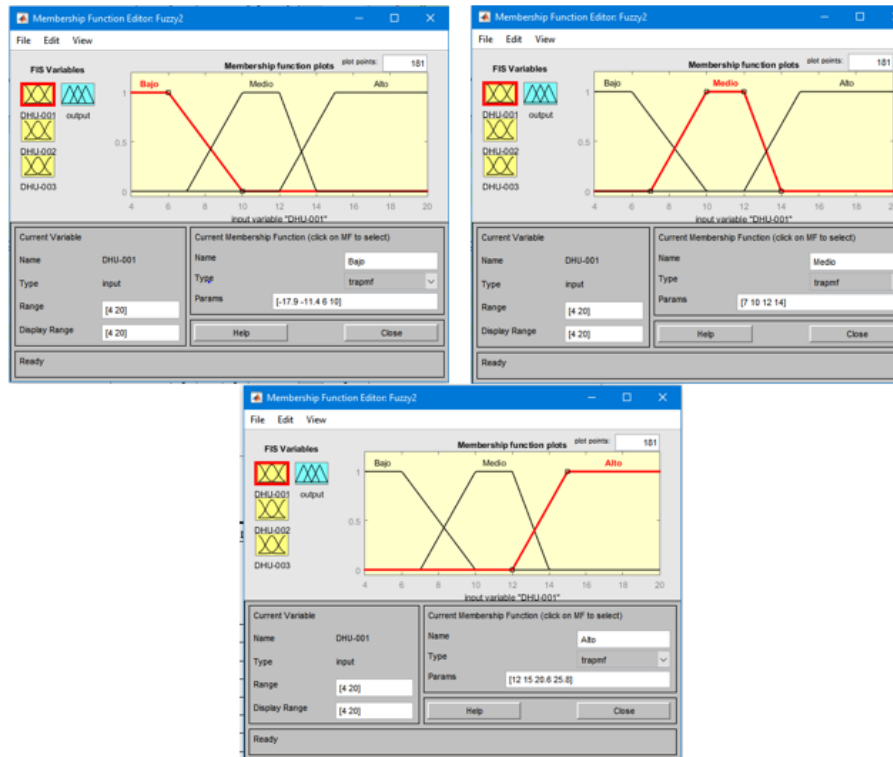


Figura 37. Definición valores de las membrecías del sistema en MatLab

Es importante aclarar que como se ve en la figura 35 se emplea una función trapezoidal porque permite una mayor variabilidad en la selección del rango sin minimizar puntos críticos específicos como sería el caso de una función triangular.



Figura 38. Visor de reglas en Matlab

Teniendo en cuenta que nuestras reglas serán comandadas por una función lógica AND se procede a dar las instrucciones correspondientes de estas en el editor de reglas del Fuzzycontrol de Matlab, esta función permite la delimitación de cada una de las opciones planteadas y así visualizar todas las posibilidades estipuladas para la aplicación.

En este mismo editor podremos simular las salidas a partir de la combinatoria de las diferentes reglas incluidas.

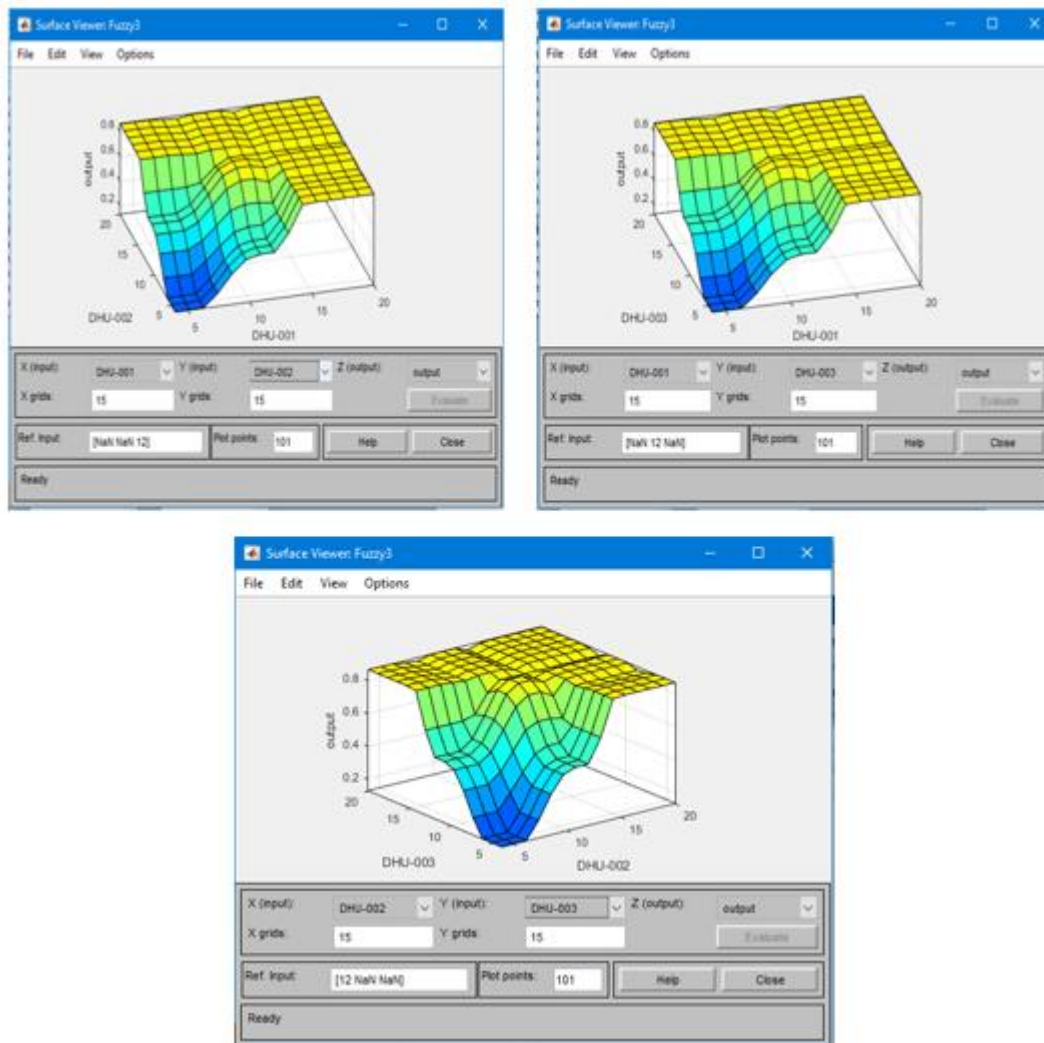


Figura 39. Curvas de correlación entre estados de tres detectores analógicos

En la figura 37 se pueden observar el nivel de correlación a la salida del sistema teniendo en cuenta la combinación entre los estados BAJO (Azul), MEDIO (Verde), y ALTO (Amarillo); como se logra observar a medida que aumenta la corriente del sensor analógico así mismo es mayor la frecuencia en la que pasamos a tener

salidas en “medio” y “Alto” para el sistema, así mismo esto está determinado según la precisión del experto teniendo en cuenta los parámetros de configuración del equipo en su datasheet o recomendaciones de fabricante.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriormente mencionadas se establece así la forma en la que deben ser activados los sistemas de extinción de incendios y de audio evacuación, claro está que estas activaciones deben corresponder a la lógica funcional descrita en el capítulo 4, en el cual se describe la CAUSA y el EFECTO generado a raíz de cada activación en la instrumentación.

En la figura 38 se observa la forma y dominio que tendrán las señales de salida de nuestro sistema difuso a razón de las diversas reglas implementadas para las membresías de activación.

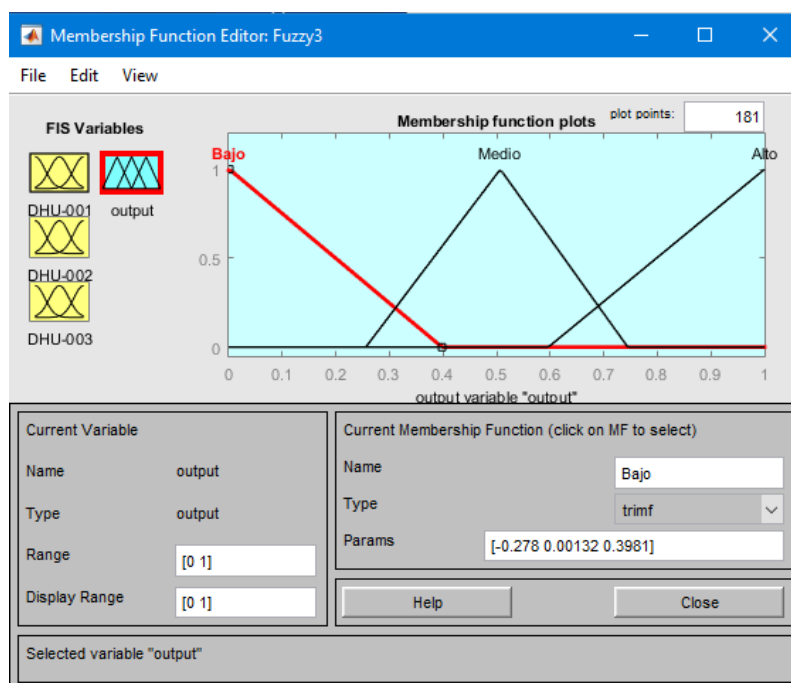


Figura 40. Salidas del sistema MISO

En el caso de LabView usaremos la Toolbox Fuzzy System designer ubicada en la barra de herramientas botón “TOOLS”, en esta herramienta ingresaremos nuevamente las reglas estipuladas para los sensores previamente vistos en Matlab.

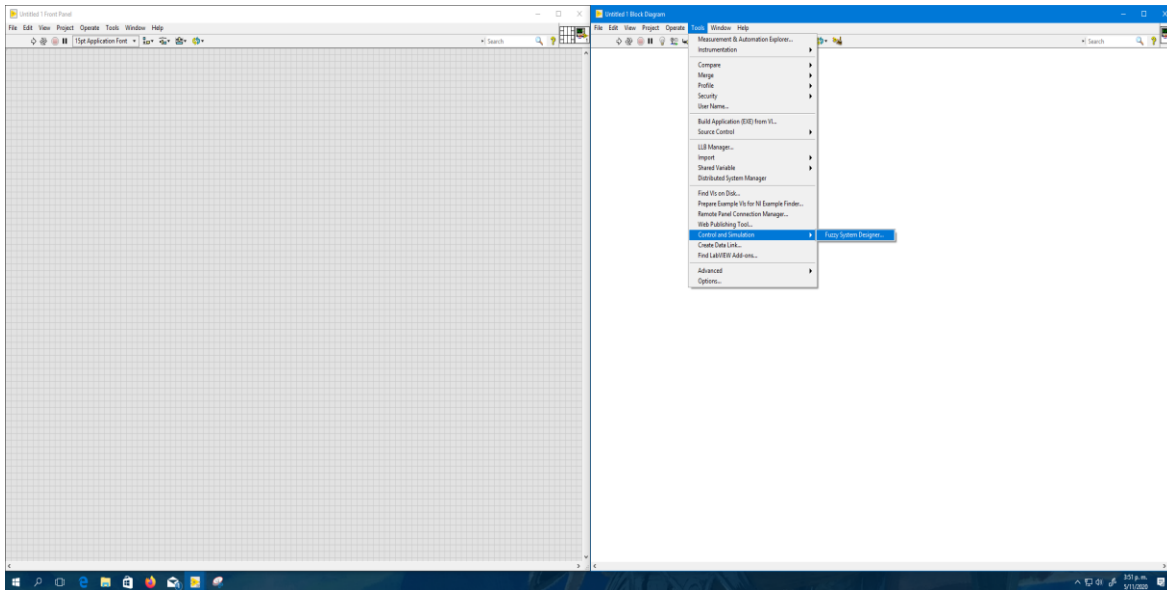


Figura 41. Ingreso a la toolbox de Fuzzy System Designer en Labview

De igual manera estas reglas deben ser cargadas y programadas en la interfaz de labview para que sea utilizado en la toolbox de control Fuzzy empleada en el diseño de la interfaz para el control de los instrumentos en el HMI.

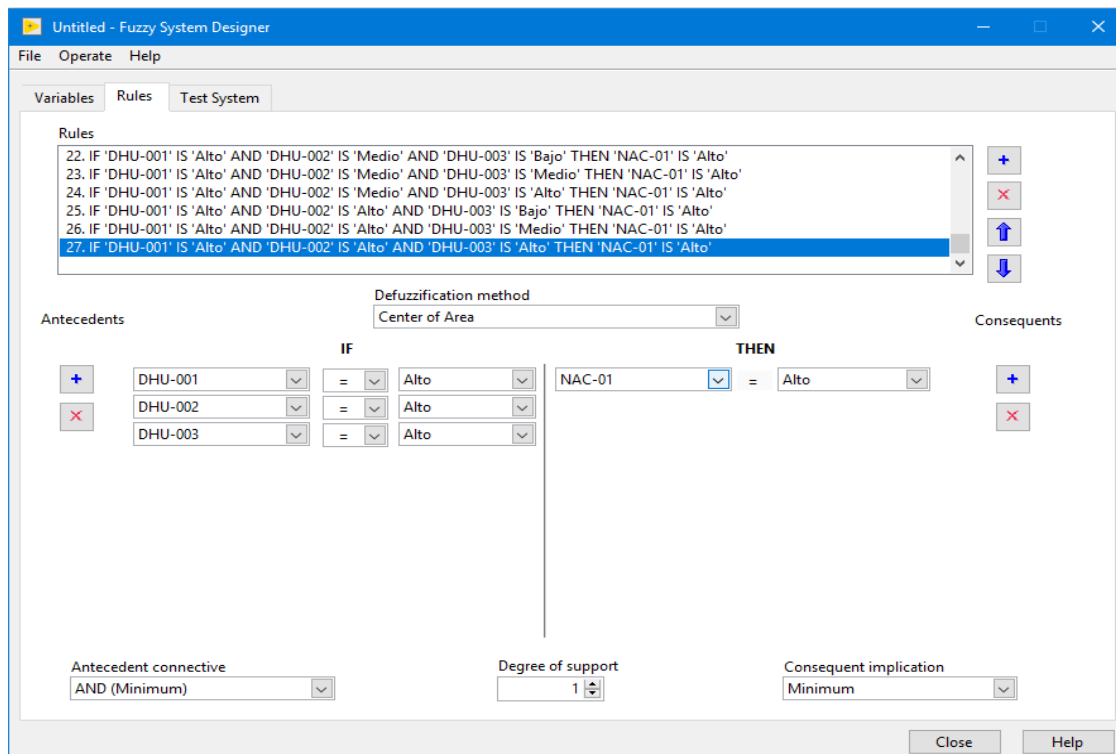


Figura 42. Inclusión de reglas en el Fuzzy System Designer de LabView

Como en matlab en Labview también se deben incluir cada una de las veintisiete reglas necesarias para la implementación de la lógica difusa en los detectores de humo analógicos, estas se encuentran en total concordancia con las vistas en la figura 34.

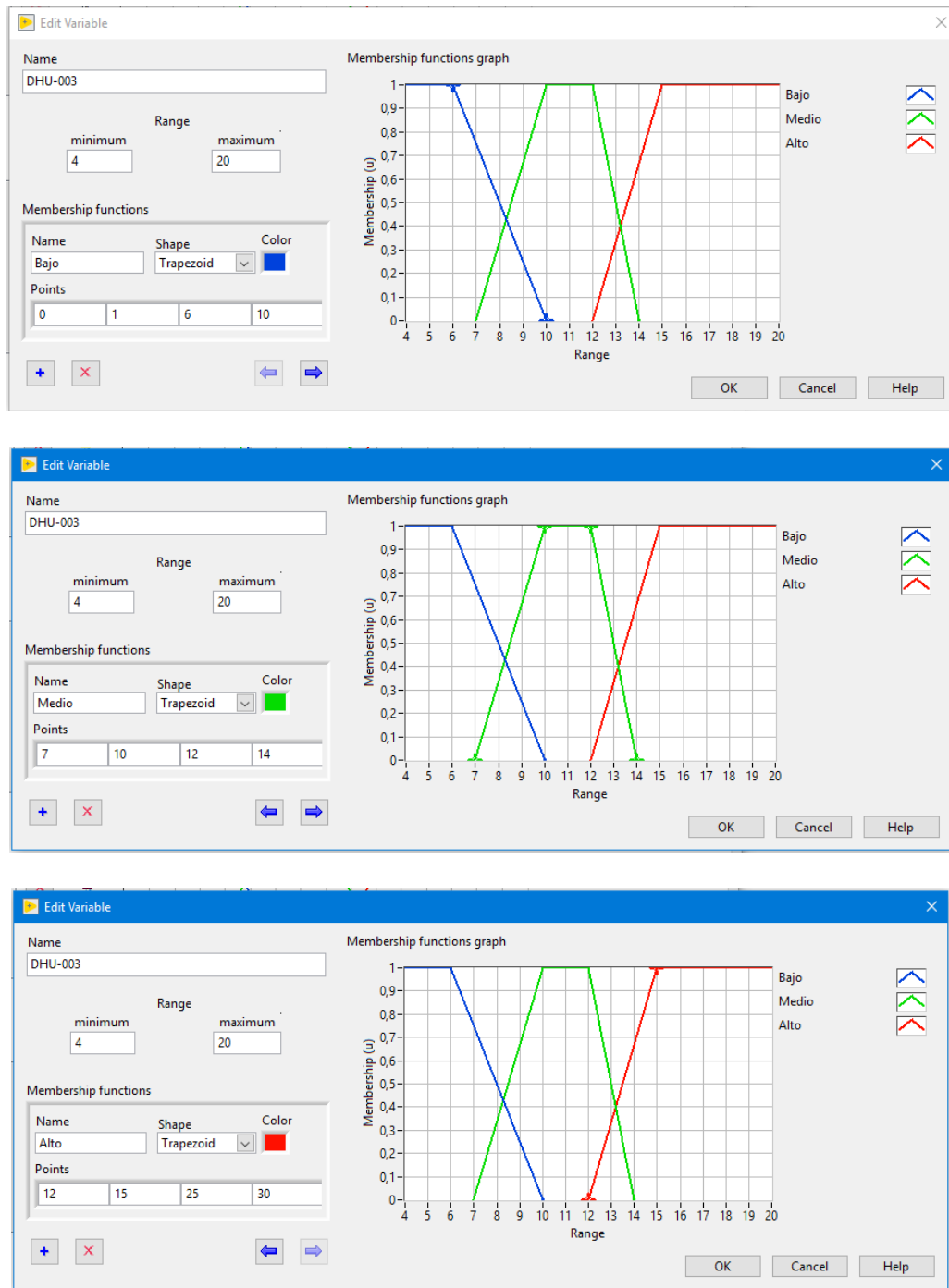


Figura 43. Definición valores de las membrecías del sistema en LabView (a)(b)(c)

En la figura 41 se aprecia la concordancia de las reglas incluidas en la interfaz de labview con respecto a las mostradas anteriormente en la figura 34 dando así certeza de la equivalencia del sistema en cualquiera de los dos software empleados.

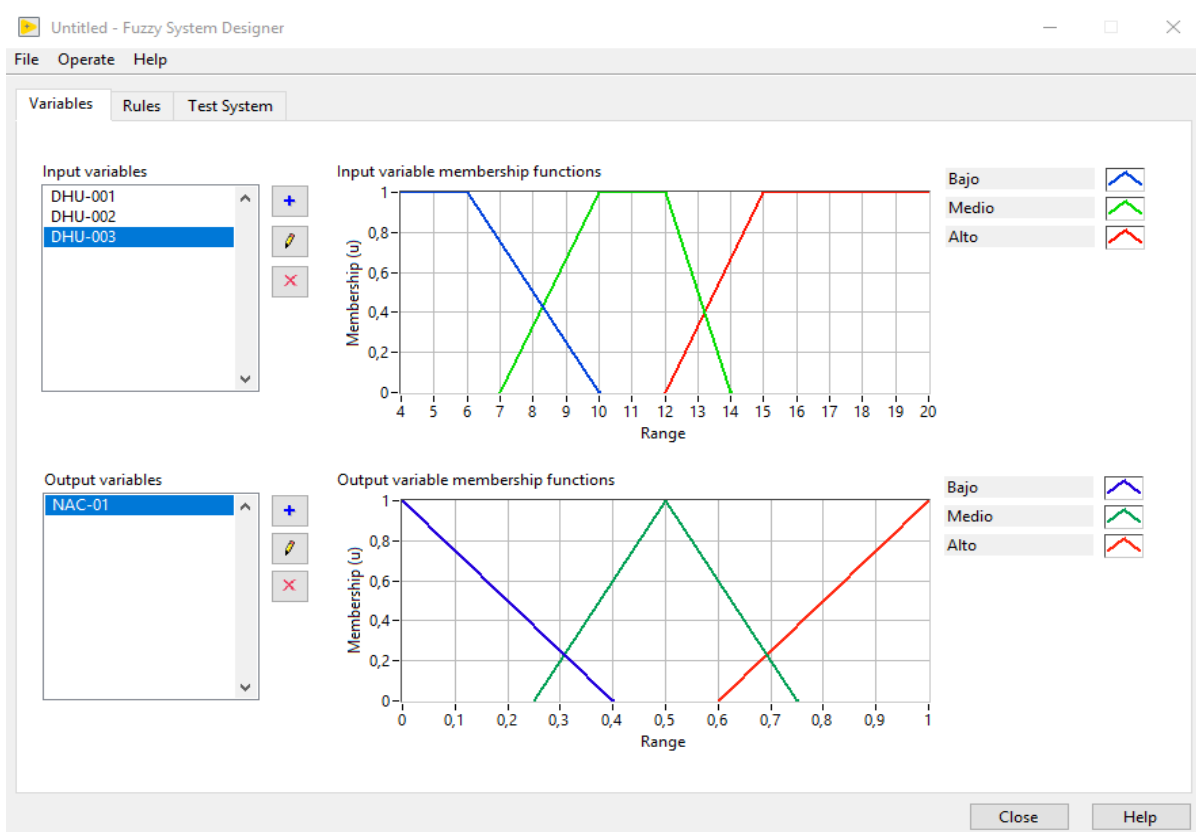


Figura 44. Entradas vs Salida del sistema MISO para tres detectores

6. CAPITULO DISEÑO DE LA INTERFAZ

En este capítulo se describe la interfaz final y su funcionamiento, en él se pretende aclarar el modo de operación de la solución implementada para el sistema de detección, alarma y extinción del sistema propuesto para el primer piso del Edificio Simón Bolívar de la Universidad de Pamplona, esto con el fin de realizar la operación de los equipos asociados y el monitoreo de los equipos correspondientes al sistema.

Este HMI permite la visualización independiente de los eventos de alarma, indicando claramente la ubicación y tipo de alarma activa mediante mímicos.

El sistema HMI permite la activación remota de las válvulas de diluvio del sistema contra incendio acorde a la filosofía del sistema de detección de incendios vista en a lo largo de este documento.

El sistema HMI muestra la activación, falla y supervisión del sistema en general.

6.1. DESPLIEGUE GENERAL OVERVIEW - DETECCIÓN.

Este es el primer despliegue que se muestra al iniciar las aplicaciones de los sistemas. El despliegue general da una vista gráfica del primer piso del Edificio Simón Bolívar, donde se puede supervisar el estado de los dispositivos del sistema en las diferentes zonas.

No es posible para el operador realizar acciones de control en los equipos o instrumentos desde este despliegue. Se puede usar únicamente como referencia rápida para determinar el estado del sistema e identificar un evento.



Figura 45. Pantalla principal del HMI Detección

En esta pantalla se observan cada uno de los diferentes dispositivos asociados al sistema de detección y alarma según la simbología de la NFPA 72 en su última versión, adicionalmente se observa un LED de estado en colores como FALLA Magenta – Falla, Verde – Normal o Bajo, Amarillo – Prealarma, Rojo – Alarma y Azul - Mantenimiento.

Esta pantalla de visualización también cuenta con una barra de texto ubicada en la parte superior izquierda de los overview de detección y extinción, en esta se identifica el mensaje que se reproduce en el instante de un evento.

6.1.1. NOMBRAMIENTO DE INSTRUMENTOS.

Para facilitar la identificación de los equipos de instrumentación seleccionados se emplean los “tags” que son simples siglas que se componen de la descripción del instrumento o equipo y una identificación numérica secuencial, de la siguiente manera: Instrumento + XXX

DESCRIPCIÓN	TAG
Estación manual de alarma	EMA - XXX
Detector de humo	DHU – XXX
Detector Térmico	DT – XXX
Detector térmico Lineal	DTL – XXX
Detector de gas	DG - XXX
Alarma Audio Visual	AAV – XXX
Válvula de diluvio	VDL - XXX

Tabla 10. Equipos y designación de TAG's

6.2. DESPLIEGUE GENERAL OVERVIEW - EXTINCIÓN.



Figura 46. Pantalla principal del HMI Extinción

La segunda pantalla está diseñada para poder identificar las válvulas de diluvio, las zonas a las que pertenecen y los rociadores que se activan en razón de su correspondiente válvula.

Estos rociadores son seccionados por las válvulas de diluvio, estas últimas son identificadas en la parte superior de la pantalla y se ve su estado de activación en color verde, mientras que la zona de rociadores se verá activa en color Rojo ante un evento de detección del sistema.

Al igual que la pantalla de detección en esta pantalla podemos encontrar la barra de identificación del mensaje de voz que se activa al momento de un evento.

6.3. DESPLIEGUE PANEL DE INSTRUMENTOS

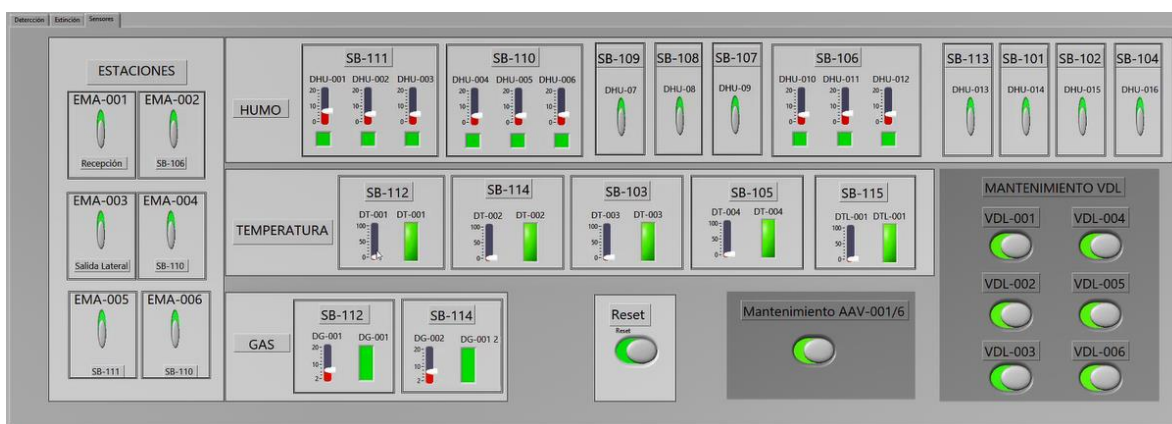


Figura 47. Panel de instrumentos

6.3.1. INSTRUMENTOS CON LÓGICA DIFUSA MISO DHU.

En este panel se observan los instrumentos que requieren lógica difusa del tipo MISO, en la interfaz se emplean tres entradas (detectores) para cada área que lo requiera, los slide de control funcionan en razón de las 27 reglas descritas anteriormente.

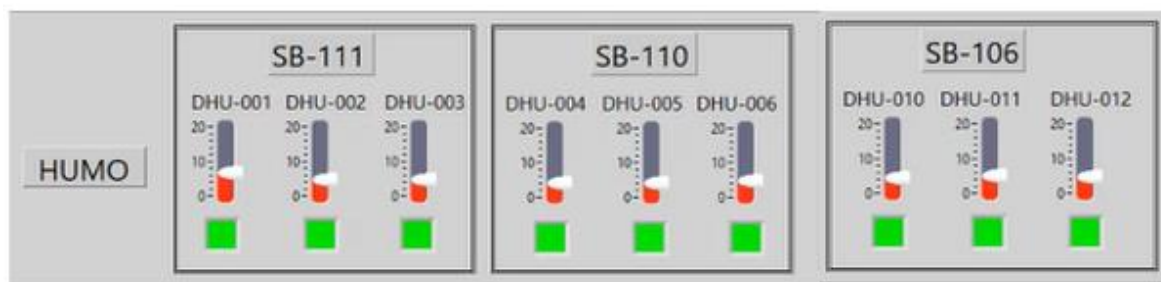


Figura 48. Instrumentos configurados con lógica Difusa

En la interfaz se puede observar que los dispositivos se encuentran en estado normal al encontrarse el panel de instrumentos en color verde. Como los detectores y demás instrumentos cuentan con diversos estados se procede a usar una función que permita el cambio de color en los indicadores luminosos tanto en el panel de instrumentos como en los overview.

Es importante aclarar que la activación del sistema de audio evacuación depende de las reglas descritas en la Tabla 7 con la cual se puede confirmar la activación de los instrumentos según su ubicación y el mensaje que se debe difundir teniendo en cuenta el sitio del evento.

VERDE	ROJO	AZUL	SALIDA
0	255	255	MAGENTA
255	0	0	VERDE
255	255	0	AMARILLO
0	255	0	ROJO

Tabla 11. Combinación de colores

Para poder mostrar los cambios en los colores del LED indicador de los detectores de humo analógicos se recibe la entrada del sensor como una variable como se muestra en la figura 47.

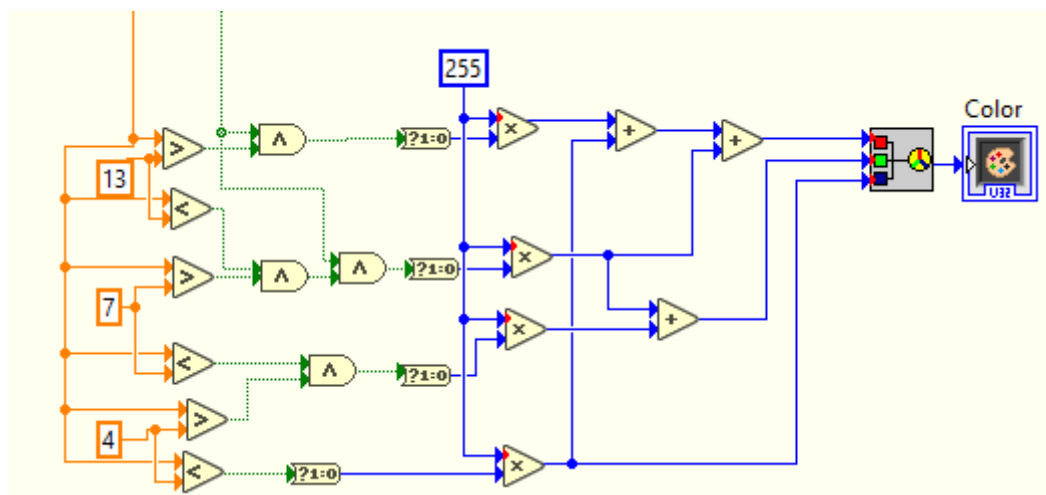


Figura 49. Diagrama en bloques para el cambio del color en los detectores de humo analógicos

Todos los segmentos tendrán la posibilidad de parpadear en la interfaz, para esto se generó una señal lógica a partir de la comparación de un tiempo con la finalidad de generar este efecto visual para denotar los escenarios de alarma, pre-alarma y falla.

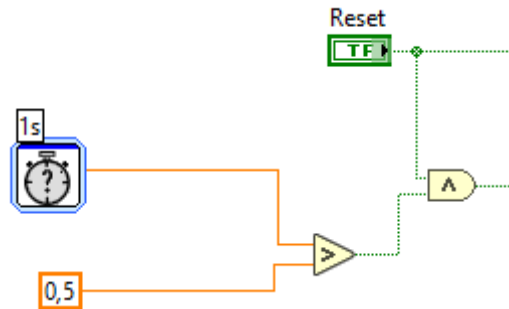


Figura 50. Función para parpadeo de los LED ante un evento

El color es determinado a partir de una comparación lógica de la magnitud de entrada del sensor acorde a los valores de la función de membresía, siendo así los valores por debajo de 4mA o denominado falla se ven de color magenta, los valores en el intervalo de 4 a 7 mA se ven representados en color verde y denotan un funcionamiento normal, los valores de entrada que se encuentren en valores de 7 a 13 mA representan el valor medio dando como muestra el color amarillo y de 13 mA en adelante representa un valor alto representado en color rojo.

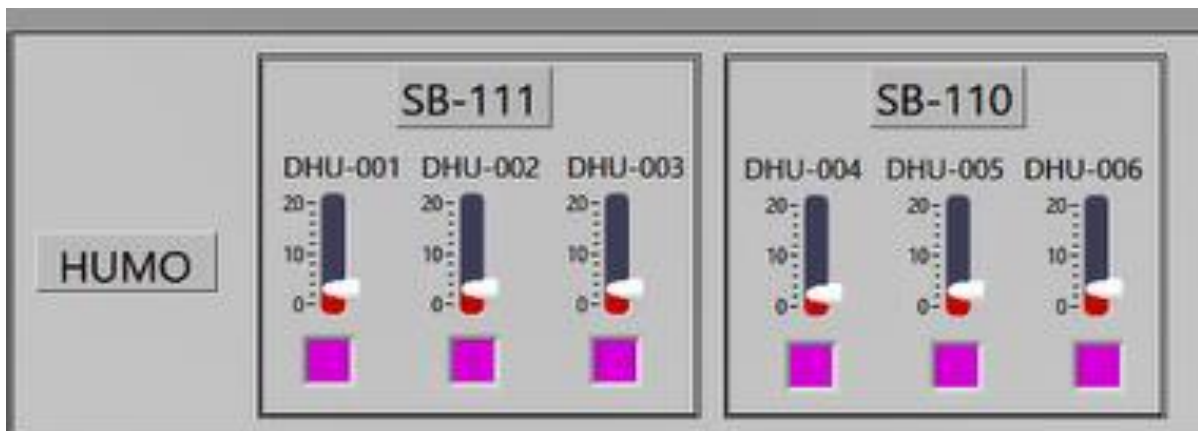


Figura 51. Instrumentos en falla.

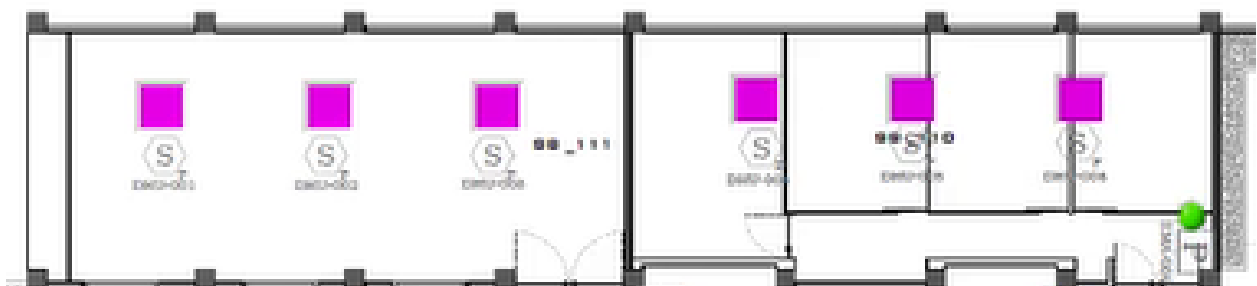


Figura 52. Instrumentos en falla en overview de detección

En la figura 50 se puede observar la simulación del sistema para dos de las áreas colocando todos sus equipos de detección en estado de falla.

En la pantalla de control de instrumentos se puede manipular las variables sensadas para corroborar la variación de estados y el cambio de color entre ellos en la figura 52 se puede observar un estado de prealarma en color amarillo al manipular el slide y subir el valor en cada uno de los detectores.

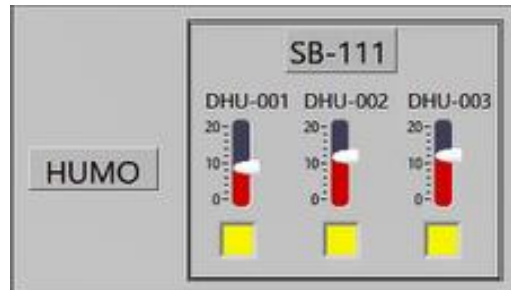


Figura 53. Instrumentos en estado de detección medio

En la figura 52 se puede observar que al contar con tres dispositivos en estado medio de detección generan un estado de prealarma en el dispositivo pero aun así en concordancia con las reglas activan la alarma de audio evacuación que reproducirá un mensaje indicando por donde salir de la edificación así mismo este estado activa el sistema de extinción de incendios según la lógica asociada.



Figura 54. Dispositivos en estado medio de detección y mensaje de audio evacuación.

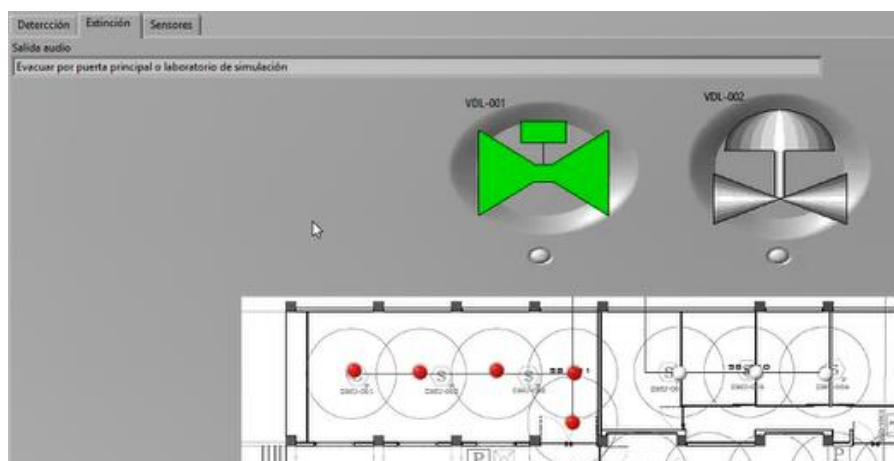


Figura 55. Activación del sistema de extinción con dos o más señales en estado medio.

El color rojo será usado en el momento que el detector cuente con una salida de tipo alta y se encuentra el valor de salida en corriente en aproximadamente 13 mA es decir un 70% de la escala de funcionamiento.

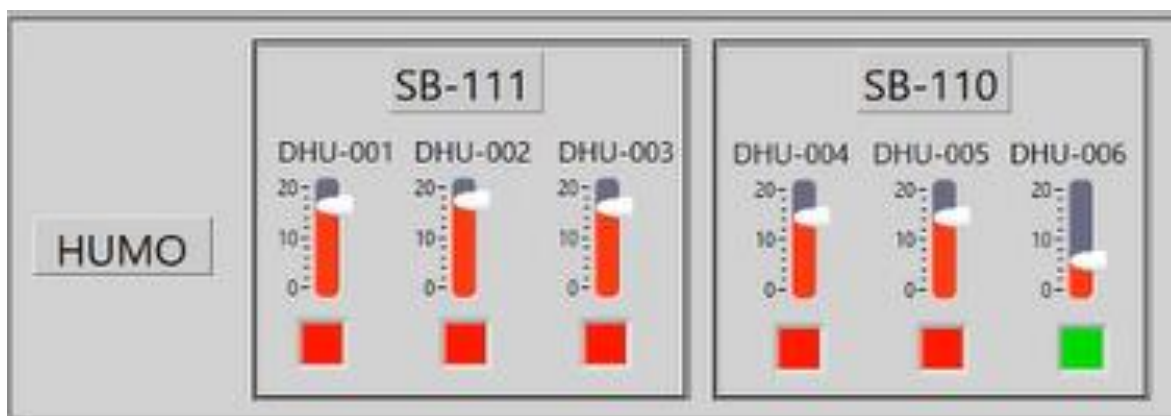


Figura 56. Múltiples instrumentos activos en múltiples áreas.

Al igual que el valor medio visto previamente el valor alto se evidencia en color rojo en el panel de instrumentos y overview de detección, este indica la activación de los instrumentos y así mismo genera la activación del sistema de extinción de incendios en las áreas que vinculen este tipo de dispositivos como se puede observar en las siguientes figuras.

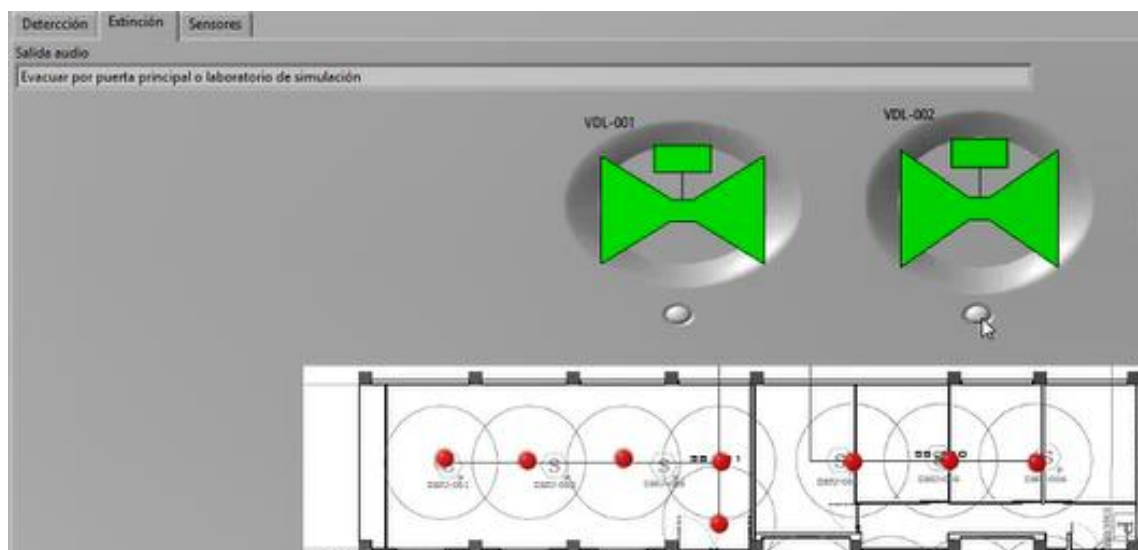


Figura 57. Múltiples activaciones por estado alto.

En el caso de detección por valores medios el sistema de audio evacuación indica cual debe ser la ruta adecuada para salir del edificio, en este caso se muestra en la barra superior izquierda el mensaje de evacuación que se activa.

En todos los casos en los que se presente activación de los instrumentos de detección se puede observar la activación de la válvula de diluvio que controla el área de rociadores encargados de proteger el recinto, de igual manera se activan todos los speaker/strobe (parlantes con estrobo) siendo estos indicados en color rojo al momento de iniciar la función de la reproducción del mensaje.

6.3.2. INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN DE GASES DG

El principio de funcionamiento para estos instrumentos está basado en que se realiza una conversión del “nivel inferior de explosividad” LEL con respecto a la corriente de salida del dispositivo.

En la interfaz se puede observar que los dispositivos se encuentran en estado normal al encontrarse el panel de instrumentos en color verde.

Como los detectores y demás instrumentos cuentan con diversos estados se procede a usar una función que permita el cambio de color en los indicadores luminosos tanto en el panel de instrumentos como en los overview, esta función ya se describió previamente para los detectores de humo analógicos y se puede ver en la figura 56, en este caso solo se cambian los valores en los que se generan los diferentes tipos de estados (Falla, normal, pre-alarma y falla)



Para visualizar el mensaje se observa una línea de texto en la parte superior izquierda que muestra el mensaje que indica por donde se debe evacuar según el lugar del evento.



87

para los sensores de gas donde el color magenta representa una falla y se encuentra situado en los valores inferiores a los 4 mA.

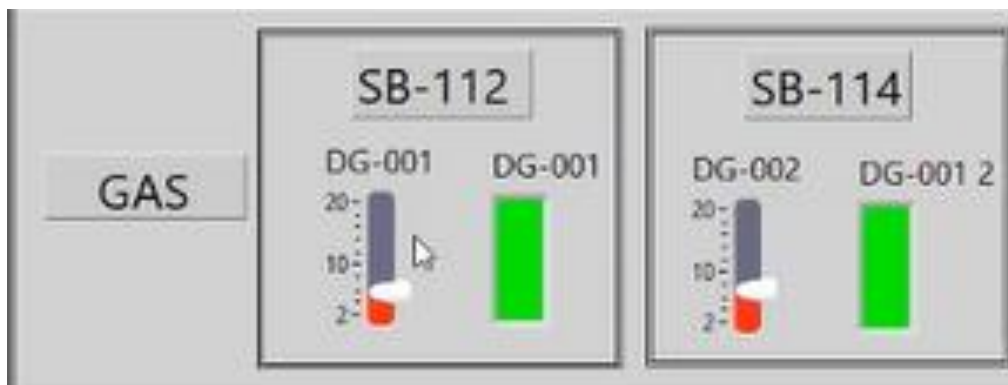


Figura 60. Detectores de gas en estado normal medición baja

El color amarillo representa un estado de detección medio o pre-alarma el cual está ubicado en el rango de 12-18 mA

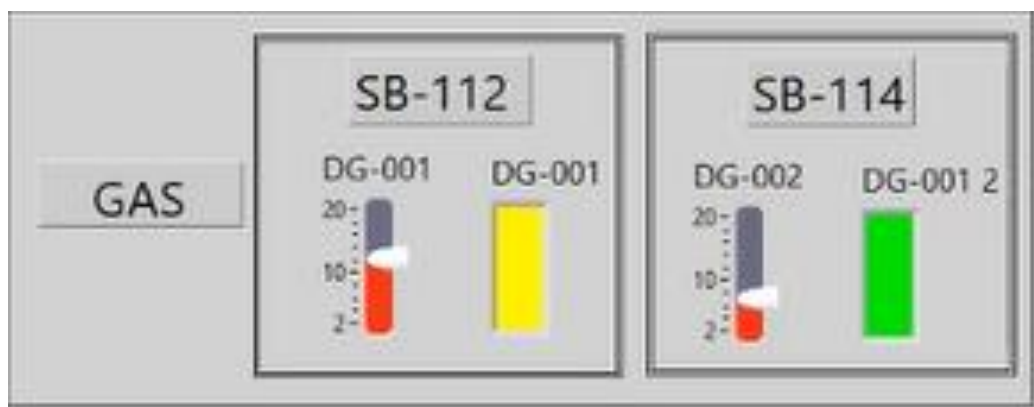


Figura 61. Detector en rango de medición "medio"

El color rojo se activa en el momento que el detector cuenta con una salida de tipo alta y se encuentra el valor de salida en corriente en aproximadamente 18 - 20 mA.

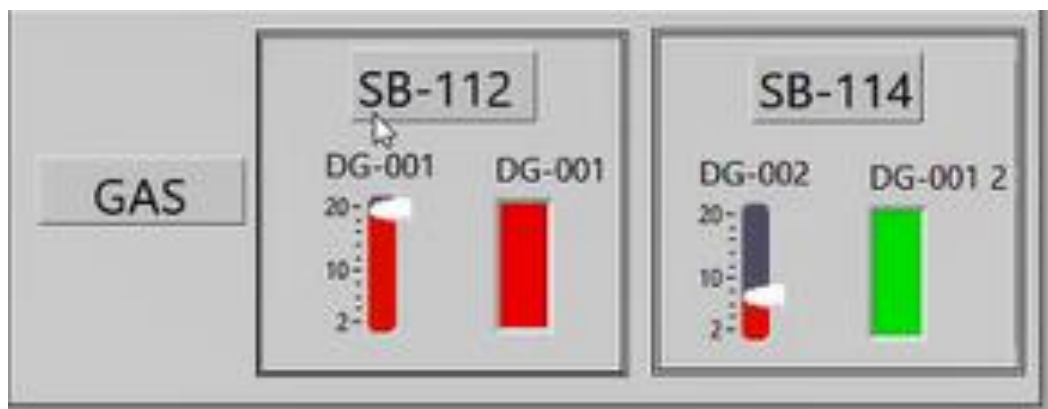


Figura 62. Detector de gas Activo

Los colores mostrados en el panel de instrumentos se ven reflejados en el overview de detección, allí se indica la activación de los instrumentos en sus diferentes estados y así mismo genera la activación del sistema de extinción de incendios en las áreas que vinculen este tipo de dispositivos como se puede observar en la figura 61.



Figura 63. Detección de gas y activación sistema de audio evacuación.

Tal como en el caso de detección por valores medios el sistema de audio evacuación indica cual debe ser la ruta adecuada para salir del edificio y se muestra en la barra superior izquierdo el mensaje de evacuación que se activa.

En todos los casos en los que se presente activación de los instrumentos de detección se puede observar la activación de la válvula de diluvio que controla el área de rociadores encargados de proteger el recinto, de igual manera se activaran todos los speaker/strobe (parlantes con estrobo) siendo estos indicados en color rojo al momento de iniciar la función de la reproducción del mensaje.

6.3.3. INSTRUMENTOS DE MONITOREO DIGITALES

Estos equipos cuentan con una lógica de activación tipo ON – OFF dando únicamente como resultado una salida ante dos posibles estados, un estado normal representa un 0 mientras que un estado de activación representa un valor de un uno 1 lógico.

Este tipo de característica será observada en los detectores térmicos (puntuales y lineales), en los detectores de humo puntuales del tipo digital diferentes a los vistos en el ítem 6.3.1. y en las estaciones manuales de alarma.

Es de tener en cuenta que estos dispositivos están programados en función de la matriz causa efecto por ende los principios de activación de los sistemas de extinción y audio evacuación serán los mismos descritos anteriormente.

6.3.3.1. DETECTORES TÉRMICOS PUNTUALES Y LINEALES DT Y DTL.

Los instrumentos de detección térmica están configurados para funcionar en temperaturas diferentes según su tipo de aplicación, para el caso de los sensores térmicos puntuales se establece un valor de 58°C para el punto de activación mientras que el detector térmico lineal tendrá un punto de activación de 88°C, esto debido a que las condiciones de operación del transformador hacen que la temperatura nominal sea más alta claramente a la de un recinto con ocupación normal.

Estos instrumentos están configurados para poder ser simulados mediante un slide que permite emular de manera manual el incremento de temperatura manteniéndose en color verde mientras el sistema no llegue al valor nominal de activación, una vez el equipo supera el límite establecido el indicador tanto de la interfaz de detección como el indicador del instrumento en el panel de instrumentos se pondrá en rojo para indicar que se ha activado el dispositivo.



Figura 64. Detectores térmicos puntuales y lineales

Cualquier activación del detector puntual o lineal será reflejada en el overview de detección y de extinción, este funciona según la lógica establecida en la filosofía de operación descrita en la matriz causa efecto.



Figura 65. Activación instrumentos detección temperatura

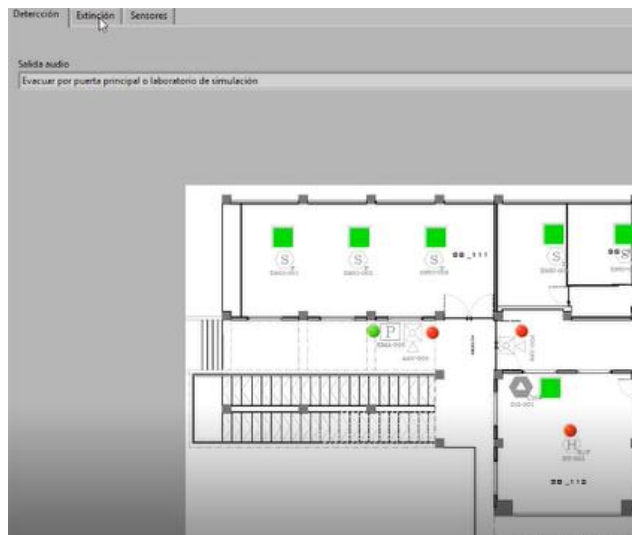


Figura 66. Detector térmico activado

La activación de los detectores térmicos mostrara los mímicos con una intermitencia en color rojo, así mismo los dispositivos de audio-evacuación parpadearan en color rojo para mostrar el estado de alarma, en el costado superior izquierdo del overview de detección y de extinción se mostrará el mensaje de evacuación, ver figura 64 – 65.

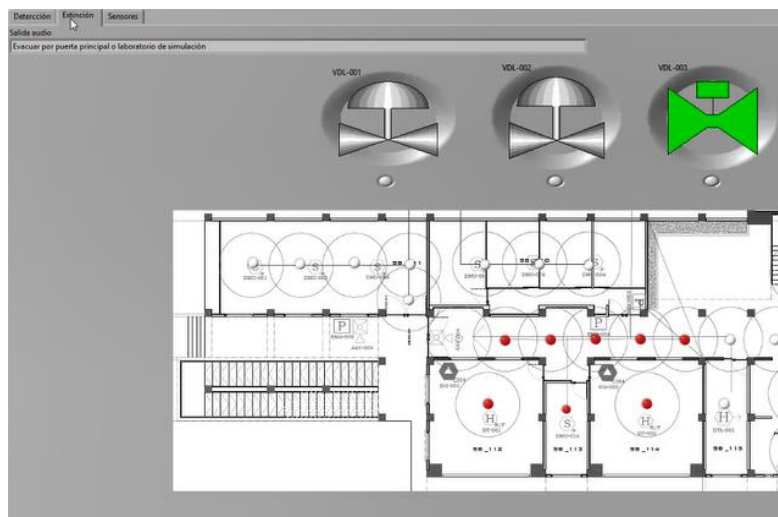


Figura 67. Activación sistema de extinción

La lógica de funcionamiento será la misma para todos los riesgos que cuentan con detectores térmicos de tipo puntual o lineal, solo se modifica según la matriz causa y efecto la válvula de diluvio que se activa y el mensaje de evacuación que se muestra.

6.3.3.2. DETECTORES DE HUMO DIGITALES TIPO PUNTUAL DHU.

Los instrumentos de detección de humo digitales de tipo puntual están configurados para funcionar con una lógica tipo ON - OFF, es decir por las dimensiones del recinto no se requiere de una confirmación con más de un dispositivo, esto porque la cobertura de un solo equipo es suficiente para brindar protección a todo el recinto con ocupación normal.

Estos instrumentos están configurados para poder ser simulados mediante un slide que permite emular de manera manual el estado normal (color verde) o un estado activo (color rojo), una vez el instrumento es activado tanto la interfaz de detección como la identificación del instrumento en panel de instrumentos se pondrá en rojo.

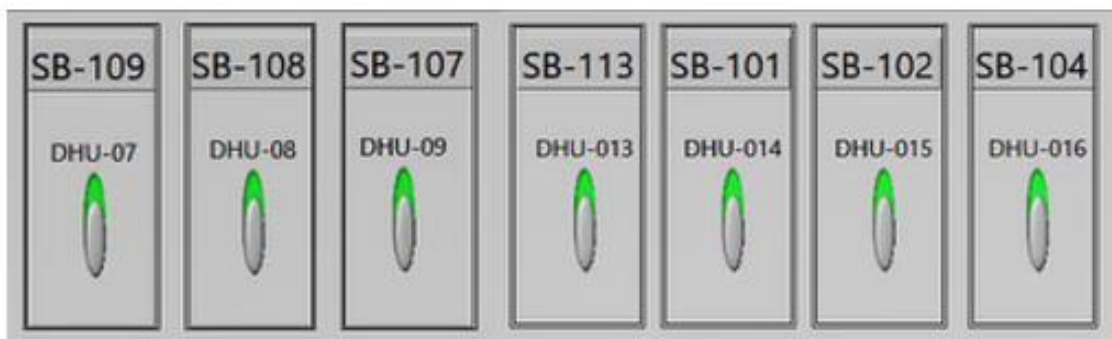


Figura 68. Instrumentos de detección de humo

La activación de cualquiera de los detectores de humo de tipo puntual se ve automáticamente reflejado en el overview de detección y de extinción tal como es el caso de los dispositivos de detección térmica, así mismo estos activan únicamente la válvula de diluvio que delimita el área de activación a la cual corresponden.

Es importante saber que la activación de varios dispositivos en diversas áreas genera múltiples descargas en el sistema de extinción según la lógica predefinida en la matriz causa efecto y así mismo el mensaje de evacuación que se emite indica en caso de acciones múltiples en dos de las tres áreas delimitadas en la figura 18 que se debe salir por la única ruta disponible.

En la figura 68 se puede observar el ejemplo de activación de un detector de humo convencional y la respectiva activación de los dispositivos de notificación y el mensaje de audio-evacuación.



Figura 69. Activación detector de humo puntual.

6.3.3.3. ESTACIONES MANUALES DE ALARMA EMA.

Los instrumentos de iniciación manual también son equipo digitales y están configurados para funcionar con una lógica tipo ON - OFF, su activación está basada en una eventual falla del sistema automático por lo cual deben ser operadas manualmente y solo pueden ser reposicionadas en sitio.

Estos instrumentos están configurados para poder ser simulados mediante un slide que permite emular de manera manual el estado normal (color verde) o un estado activo (color rojo), una vez el instrumento es activado tanto la interfaz de detección como la identificación del instrumento en el panel de instrumentos se pondrá en rojo para indicar que se ha activado el dispositivo.

La activación de la estación manual genera de manera automática la secuencia de extinción según la matriz causa efecto activando la válvula de diluvio del área correspondiente, de igual manera se activa el sistema de audio evacuación con el respectivo mensaje para desalojar el recinto según el sitio que sea más seguro.



Figura 70. Activación Estación manual EMA-003 y red de rociadores de Válvula de diluvio 005

Como se ha venido evidenciando a lo largo de las diferentes figuras mostradas anteriormente, estos instrumentos también generan activación general de la red de parlantes provocando la emisión del mensaje de evacuación correspondiente.



Figura 71. Activación estación manual de alarma y sistema de audio-evacuación

6.3.4. ACTIVACIONES EN MÚLTIPLES ÁREAS

Teniendo en cuenta la posibilidad de que se presenten eventos múltiples en más de un área de las designadas en la figura 18, el sistema ubica la salida más adecuada y segura, así mismo el sistema de extinción se activa en simultáneo para proteger la ruta de evacuación del personal.

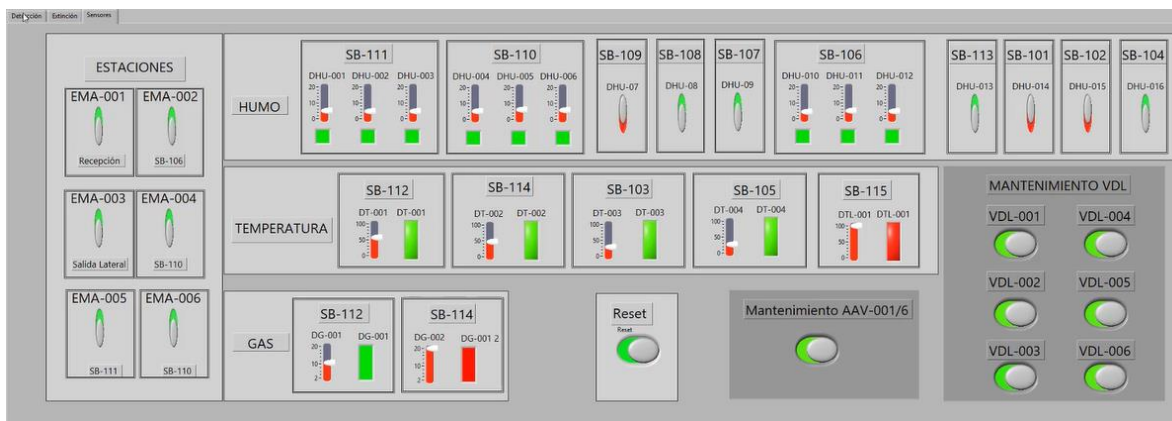


Figura 72. Activación de múltiples riesgos

En este caso se simula la activación de un detector de gas DG-002 en el área SB-114 ubicado en la zona izquierda inferior de la planimetría, el detector de humo DHU-07/014/015 en el área SB-101/102/109 ubicado en la zona central de la planimetría y el detector térmico lineal DTL-001 del área SB-115 también ubicado en la zona central de la planimetría.



Figura 73. Overview detección múltiples dispositivos activos.

Como se puede observar en la figura 72, se genera la activación automática de las válvulas de diluvio VDL-003/004 que controlan la zona del pasillo y central de rociadores.



Figura 74. Overview extinción múltiples activaciones

Es de evidenciar en ambos casos que en la barra de mensaje solo se notifica de una posibilidad en las salidas disponibles que en este caso sería la puerta del laboratorio de simulación, demostrando así que el sistema opera según las condiciones y requerimientos de la matriz causa efecto.

6.3.5. FUNCIÓN PARA LOS MENSAJES DE AUDIO EVACUACIÓN

En la figura 74 se puede observar la lógica funcional para la selección de los diferentes mensajes para la audio-evacuación, la selección de cómo se deben activar los mensajes se observó con más claridad en el capítulo de la Matriz Causa Efecto del capítulo 4, ver tabla 7.

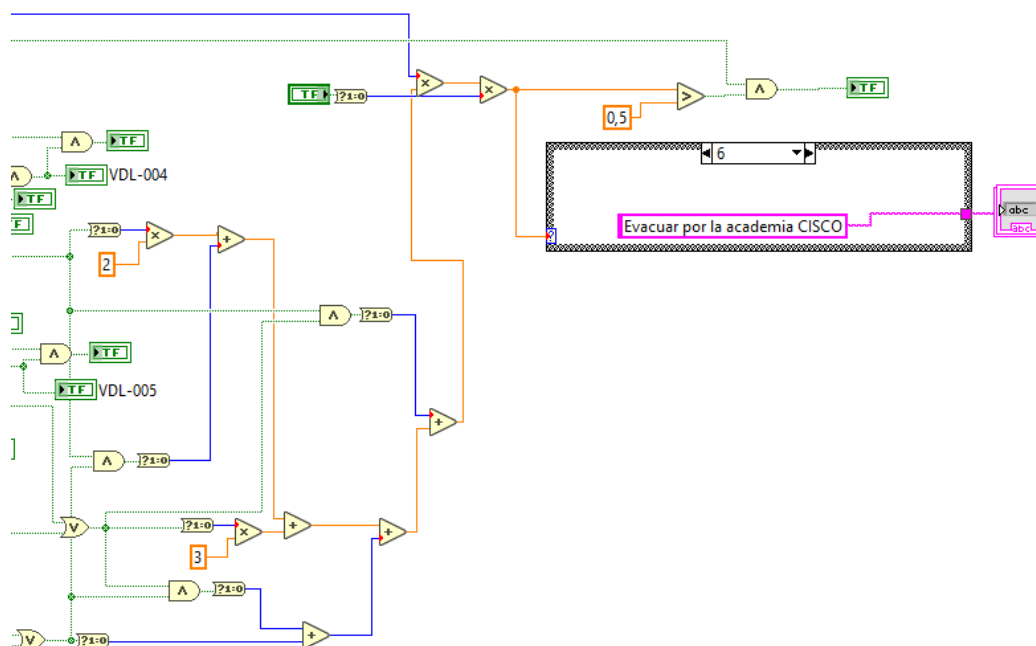


Figura 75. Bloques para el control de los mensajes de audio-evacuación

6.3.6. BOTONES DE MANTENIMIENTO

Adicionalmente el sistema está dotado con una serie de botones para poder dar mantenimiento en los dispositivos de salida como las válvulas de diluvio y los speaker/strobe, estos botones están ubicados en el panel de instrumentos y cambian a color rojo una vez se active la función de inhibir el funcionamiento de las salidas del sistema, estas serán reportadas en color azul mediante un LED indicador en la interfaz de cada overview (Detección y Extinción) correspondientemente.



Figura 76. Válvula de diluvio VDL-001 en mantenimiento

Se determina que para el caso de las válvulas de diluvio se pueda hacer un bypass individual para cada válvula con la finalidad de no desatender toda la edificación mientras que en el caso de los dispositivos de notificación se puede hacer un bypass general atendiendo a que todos los equipos están conectados a un único lazo de audio.



Figura 77. Botonera de mantenimiento en válvula y speakers/strobe

La acción de mantenimiento aunque bloquea las salidas del sistema no interfiere con el normal funcionamiento de la instrumentación de entrada, es decir a pesar que este activo el modo mantenimiento cada sensor instalado y dispositivos de iniciación manual podrán continuar su funcionamiento normal y verse reflejados en las dos pantallas del overview ver figura 76.



**Figura 78. Sistema de detección y audio evacuación en funcionamiento durante By-Pass
Válvula de diluvio VDL-001**

6.3.7. BOTÓN DE RESET

Este botón tiene como función principal dar un clean a todo el sistema para limpiar todas las alarmas presentes en el momento poniendo los valores por default en todos los instrumentos, pero guarda la particularidad que protege la memoria del sistema es decir, a pesar de que restablece todos los valores del sistema en caso de existir uno o más dispositivos activos ante un posible evento de alarma o falla que no se superara, este permite que se reactiven todas las alarmas y salidas que estos equipos activen según su lógica de programación basada en la matriz causa y efecto.



Figura 79 Botón "reset" general del sistema.

En la figura 78 se puede observar el esquema funcional completo del HMI en el se encuentran todas las funciones descritas anteriormente para poder completar una interfaz de funcionamiento total.

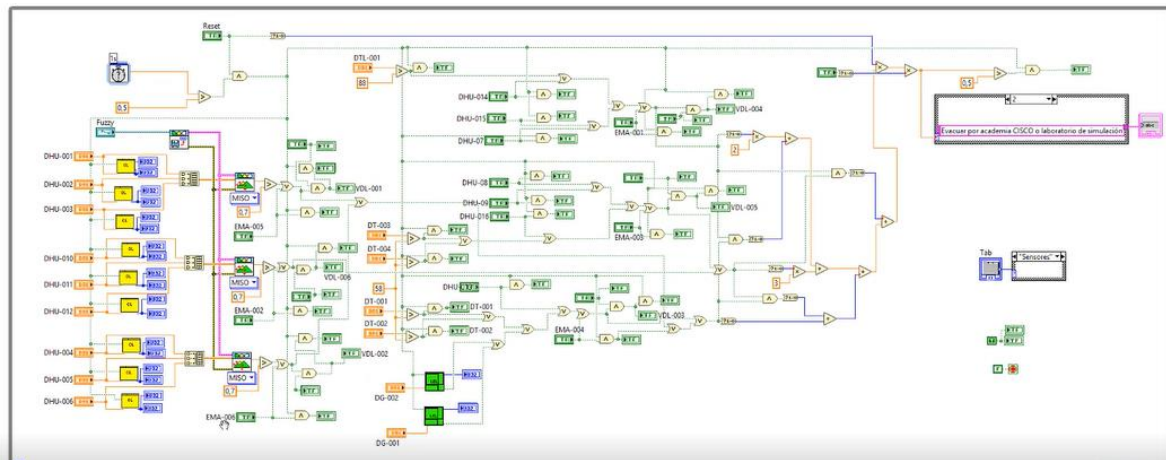


Figura 80. Diagrama general de la interfaz de simulación del HMI en LabView

Conclusiones

El uso de la lógica difusa basada en la metodología de Mamdani posibilita que el diseñador logre aplicar un sistema robusto basado en la selección de parámetros en un rango de escenarios fuera de lo convencional, esto permite la capacidad de selección en el sistema en muchos escenarios posibles que pueden ser incluidos con la combinatoria de todas las reglas aplicables según el criterio y requerimiento del sistema.

Mediante la implementación de un control de tipo difuso en sistemas de detección y alarma abre la posibilidad a una vinculación de sistemas alternativos como el control de acceso, intrusión o incluso de control de ambientes e iluminación para proporcionar una mayor confiabilidad en las aplicaciones correlacionando los sistemas entre sí para suplir falencias en sensibilidad o limitaciones en el momento del diseño por la instrumentación aplicable.

La implementación de un modelo MISO para el control de escenarios de incendio se convierte en una aplicación versátil y poco usada en este tipo de aplicaciones, teniendo en cuenta que los sistemas convencionales se basan en gran parte en una lógica binaria para tomar decisiones, incluso en los casos en los que se pueden establecer parámetros porcentuales para tomar decisiones como es el caso de detectores de gas y su medición en %LEL a razón de la nubosidad explosiva limita la decisión a un estado intermedio o pre-alarma y uno alto o alarma en puntos específicos dejando así fuera de rango varios niveles importantes que pueden marcar la diferencia previa a un evento.

Aumentando la resolución y cantidad de reglas en los sistemas de detección y alarma de incendio se puede generar una mayor capacidad de prevención en la toma de decisiones, esto de igual manera puede ser empleado con la finalidad de preservar la vida humana y el activo al evaluar los escenarios de riesgo en los cuales se deba o no accionar sistemas como el de extinción, así mismo la capacidad determinante de que la lógica decida por el usuario cual debe ser para el caso puntual la mejor ruta de evacuación, lo cual aumenta significativamente las posibilidades de sobrevivencia ante un posible evento de incendio.

La mayor versatilidad de utilizar una lógica difusa es que permite una metodología para el desarrollo de futuros controladores sin requerir de una matemática demasiado compleja simplemente basada en las etiquetas lingüística que se deseen emplear y la lógica combinacional de las reglas necesarias para cumplir con lo requerido en el conjunto difuso y satisfacer la señal de salida deseada.

Bibliografía

- [1] L. J. Fennelly and M. A. Perry, "Part 4 - Fire Protection, Emergency Management, and Safety," in *Physical Security: 150 Things You Should Know* (Second Edition), Second Edi., L. J. Fennelly and M. A. Perry, Eds. Butterworth-Heinemann, 2017, pp. 115–157.
- [2] J. H. Lilly, *Fuzzy Control and Identification*. 2010.
- [3] J. Rodríguez, "Instalaciones de Protección contra Incendios," pp. 215–216, 2008.
- [4] H. C. Mueller and A. Fischer, "Robust fire detection algorithm for temperature and optical smoke density using fuzzy logic," 1995, doi: 10.1109/ccst.1995.524912.
- [5] J. Vicente and P. Guillemant, "An image processing technique for automatically detecting forest fire," *Int. J. Therm. Sci.*, 2002, doi: 10.1016/S1290-0729(02)01397-2.
- [6] T. Çelik and H. Demirel, "Fire detection in video sequences using a generic color model," *Fire Saf. J.*, vol. 44, no. 2, pp. 147–158, 2009, doi: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2008.05.005>.
- [7] X. Li, H. K. Lam, F. Liu, and X. Zhao, "Stability and Stabilization Analysis of Positive Polynomial Fuzzy Systems With Time Delay Considering Piecewise Membership Functions," *IEEE Trans. Fuzzy Syst.*, 2017, doi: 10.1109/TFUZZ.2016.2593494.
- [8] S. Saha, S. Bhattacharya, and A. Konar, "Comparison between type-1 fuzzy membership functions for sign language applications," 2016, doi: 10.1109/MicroCom.2016.7522584.
- [9] L. I. Qiang, "Estimation of Fire Detection Time," *Procedia Eng.*, vol. 11, pp. 233–241, 2011, doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.04.652>.
- [10] O. Duarte Velasco, "Sistemas de lógica difusa: fundamentos," *Ing. e Investig.*, 1999.
- [11] J. Oliver, "Redes Neuronales y Sistemas Difusos," *J. Chem. Inf. Model.*, 2013.
- [12] P. P. Purpura, "13 - Life Safety, Fire Protection, and Emergencies," in *Security and Loss Prevention* (Fifth Edition), Fifth Edit., P. P. Purpura, Ed. Boston: Butterworth-Heinemann, 2008, pp. 295–327.
- [13] Z. Tang, W. Shuai, and L. jun, "Remote Alarm Monitor System Based On GSM and ARM," *Procedia Eng.*, vol. 15, pp. 65–69, 2011, doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.08.014>.

- [16] H. Ying, Fuzzy control and modeling: Analytical foundations and applications. 2000.
- [15] P. I. Brooker, "Irrigation equipment selection to match spatial variability of soils," *Math. Comput. Model.*, vol. 33, no. 6, pp. 619–623, 2001, doi: [https://doi.org/10.1016/S0895-7177\(00\)00266-1](https://doi.org/10.1016/S0895-7177(00)00266-1).
- [16] E. S. Manolakos, E. Logaras, and F. Paschos, "Wireless Sensor Network Application for Fire Hazard Detection and Monitoring," in *Sensor Applications, Experimentation, and Logistics*, 2010, pp. 1–15.
- [17] . B. C., "FUZZY BASED CONTROL USING LABVIEW FOR MISO TEMPERATURE PROCESS," *Int. J. Res. Eng. Technol.*, 2012, doi: 10.15623/ijret.2012.0102005.
- [18] L. Poon, "Assessing the Reliance of Sprinklers for Active Protection of Structures," *Procedia Eng.*, vol. 62, pp. 618–628, 2013, doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.08.107>.
- [19] A. Bemani-N. and M. R. Akbarzadeh-T., "A hybrid adaptive granular approach to Takagi–Sugeno–Kang fuzzy rule discovery," *Appl. Soft Comput. J.*, 2019, doi: 10.1016/j.asoc.2019.105491.
- [20] K. Kumar, N. Sen, S. Azid, and U. Mehta, "A Fuzzy Decision in Smart Fire and Home Security System," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 105, no. C, pp. 93–98, 2017, doi: 10.1016/j.procs.2017.01.207.
- [21] H. Soliman, K. Sudan, and A. Mishra, "A smart forest-fire early detection sensory system: Another approach of utilizing wireless sensor and neural networks," 2010, doi: 10.1109/ICSENS.2010.5690033.
- [22] M. Iftekhharul, M. Abid-Ar-Rafi, M. Neamul, and M. Rifat, "An Intelligent Fire Detection and Mitigation System Safe from Fire (SFF)," *Int. J. Comput. Appl.*, 2016, doi: 10.5120/ijca2016907858.
- [23] Z. Anming, "An Intrusion Detection Algorithm Based On NFPA," *Phys. Procedia*, 2012, doi: 10.1016/j.phpro.2012.05.094.
- [24] J. M. Leski, "TSK-fuzzy modeling based on ε -insensitive learning," *IEEE Trans. Fuzzy Syst.*, 2005, doi: 10.1109/TFUZZ.2004.840094.
- [25] K. Vikshant and K. C. Rupinder, "Fire Detection Mechanism using Fuzzy Logic," *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 65, no. 0975–8887, 2013.
- [26] G. Chen, T. T. Pham, and N. Boustany, "Introduction to Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, and Fuzzy Control Systems," *Appl. Mech. Rev.*, 2001, doi: 10.1115/1.1421114.

- [28] A. Esfahanipour and W. Aghamiri, "Adapted Neuro-Fuzzy Inference System on indirect approach TSK fuzzy rule base for stock market analysis," *Expert Syst. Appl.*, 2010, doi: 10.1016/j.eswa.2009.11.020.
- [29] P. Přibyl and O. Přibyl, "Calibration of a fuzzy model estimating fire response time in a tunnel," *Tunn. Undergr. Sp. Technol.*, 2017, doi: 10.1016/j.tust.2017.06.009.
- [29] Y.-W. Bai, C.-C. Cheng, and Z.-L. Xie, "Use of ultrasonic signal coding and PIR sensors to enhance the sensing reliability of an embedded surveillance system," *Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering*. pp. 287–291, 2013.
- [30] A. ur Rahman, M. T. Zahura, and A. Rezwani, "Simplified Design and Fabrication of Water Sprinkler System: A Survey Based Analysis," *Procedia Eng.*, vol. 90, pp. 692–697, 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.11.796>.
- [31] J. Hou, C. Wu, Z. Yuan, J. Tan, Q. Wang, and Y. Zhou, "Research of Intelligent Home Security Surveillance System Based on ZigBee." pp. 554–557, 2008.
- [32] L.-X. Wang, "A COURSE IN ' FUZZY A Course in Fuzzy Systems and Control," *Design*, 1997.
- [33] L. Muduli, D. P. Mishra, and P. K. Jana, "Optimized Fuzzy Logic-Based Fire Monitoring in Underground Coal Mines: Binary Particle Swarm Optimization Approach," *IEEE Syst. J.*, 2020, doi: 10.1109/JSYST.2019.2939235.
- [34] R. A. Sowah, A. R. Ofoli, S. N. Krakani, and S. Y. Fiawoo, "Hardware design and web-based communication modules of a real-time multisensor fire detection and notification system using fuzzy logic," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, 2017, doi: 10.1109/TIA.2016.2613075.
- [35] B. E. Z. Leal, A. R. Hirakawa, and T. D. Pereira, "Onboard fuzzy logic approach to active fire detection in Brazilian amazon forest," *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.*, 2016, doi: 10.1109/TAES.2015.140766.
- [36] M. Iftekharul, M. Abid-Ar-Rafi, M. Neamul, and M. Rifat, "An Intelligent Fire Detection and Mitigation System Safe from Fire (SFF)," *Int. J. Comput. Appl.*, 2016, doi: 10.5120/ijca2016907858.
- [37] B. Ko, J. H. Jung, and J. Y. Nam, "Fire detection and 3D surface reconstruction based on stereoscopic pictures and probabilistic fuzzy logic," *Fire Saf. J.*, 2014, doi: 10.1016/j.firesaf.2014.05.015.
- [38] S. Garg, B. R. Sharma, K. Cohen, and M. Kumar, "A Fuzzy Logic based image processing method for automated fire and smoke detection," 2013, doi: 10.2514/6.2013-879.

- [39] R. Sowah, K. O. Ampadu, A. Ofoli, K. Koumadi, G. A. Mills, and J. Nortey, "Design and implementation of a fire detection and control system for automobiles using fuzzy logic," 2016, doi: 10.1109/IAS.2016.7731880.
- [40] R. Malanga, "Fire protection systems development to protect subway system token booth clerks from incendiary attack," J. Fire Prot. Eng., 1991, doi: 10.1177/104239159100300401.
- [41] H. Z. Yu and X. Liu, "An Efficacy Evaluation of Water Mist Protection Against Solid Combustible Fires in Open Environment," Fire Technol., 2019, doi: 10.1007/s10694-018-0793-0.
- [42] S. J. Chen, D. C. Hovde, K. A. Peterson, and A. W. Marshall, "Fire detection using smoke and gas sensors," Fire Saf. J., 2007, doi: 10.1016/j.firesaf.2007.01.006.
- [43] X. Han and X. Kong, "The designing of serial communication based on RS232," 2010, doi: 10.1109/CDEE.2010.80.
- [44] "Perancangan RS 232 to RS 485 Converter Sistem Network Multidrop," J. Tek. Elektro, 2004, doi: 10.9744/jte.1.1.
- [45] T. H. Morris, B. A. Jones, R. B. Vaughn, and Y. S. Dandass, "Deterministic intrusion detection rules for MODBUS protocols," 2013, doi: 10.1109/HICSS.2013.174.