

**DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE RED INTELIGENTE PARA EL DISEÑO  
DE UN SISTEMA INMÓTICO DEL EDIFICIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA  
UBICADO EN LA SEDE “EL ALJIBE” DE LA CORPORACIÓN UNIVERSITARIA  
AUTÓNOMA DEL CAUCA**



DAVID ESCOBAR VALENCIA

DAVID MUÑOZ BOLAÑOS

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CAUCA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

POPAYÁN

2016

**DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE UNA RED INTELIGENTE PARA EL  
DISEÑO DE UN SISTEMA INMÓTICO DEL EDIFICIO DE CIENCIA Y  
TECNOLOGÍA UBICADO EN LA SEDE “EL ALJIBE” DE LA CORPORACIÓN  
UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CAUCA**

DAVID ESCOBAR VALENCIA

DAVID MUÑOZ BOLAÑOS

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO ELECTRÓNICO

Director

Ingeniero Geovanny Alberto Catamuscay Medina

Asesor

Ingeniero Juan Pablo Diago Rodríguez

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CAUCA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

POPAYÁN

2016

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mis padres por su continuo esfuerzo y apoyo para llegar a este punto de mi vida; y a mis hermanas Diana y Sandra por ser una fuente de motivación porque con sus opiniones marcaron mi crecimiento académico y personal.

*David Escobar Valencia*

Agradezco a mis padres y hermanos el apoyo y confianza depositada en mi a lo largo de mi carrera, y principalmente su amor y entrega totales en cada uno de los pasos que he dado.

*David Alejandro Muñoz*

Agradecemos a nuestro director, el ingeniero Geovanny Catamusca, por su tiempo, dedicación y sus valiosos aportes para el desarrollo de este trabajo; así como al ingeniero Juan Pablo Diago por sus sugerencias y asesorías para la culminación de este documento.

*Los Autores*

## RESUMEN

Este trabajo de investigación que a continuación se desarrolla, tiene como objetivo presentar una distribución de elementos primarios al servicio de la inmotica sobre los diferentes ambientes del edificio de ciencia y tecnología de la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, el cual se encuentra proyectado sobre planos; además de proponer un prototipo de red inteligente validado por simulación para el control de las variables de temperatura, humedad e iluminación las cuales fueron caracterizadas dentro del laboratorio de física de la institución. La técnica de control se clasifica dentro de las no convencionales, en este caso se utiliza la lógica difusa, la idea es que la red apoyada en este tipo de control proporcione una acción de salida optima frente al comportamiento de las variables, para generar confort y ahorro energético dentro de un predio.

***Palabras claves: Inmótica, Control no convencional, elementos primarios.***

## **ABSTRACT**

This research paper then develops, aims to present a distribution of primary elements in the service of building technologies on the different environments of building science and technology University Corporation Autonoma del Cauca, which is projected on planes; in addition to proposing a prototype intelligent network validated by simulation for variable control of temperature, humidity and lighting which were characterized in the physics laboratory of the institution. The control technique is classified as unconventional, in this case the fuzzy logic is used, the idea is that supported this type of control network provides an action optimal output against the behavior of the variables to generate comfort and energy saving within an area

***Key words: building automation, non-conventional control, primary elements.***

# CONTENIDO

<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>3</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>4</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>5</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>13</b>
<b>DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....</b>	<b>15</b>
1.1 OBJETIVOS.....	16
1.1.1 Objetivo general.....	16
1.1.2 Objetivos específicos .....	16
1.2 ENFOQUE METODOLÓGICO.....	17
1.3 TRABAJOS RELACIONADOS.....	19
1.4 ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO .....	21
<b>2. CONTEXTO GENERAL .....</b>	<b>22</b>
2.1 DOMÓTICA.....	22
2.2 INMÓTICA .....	23
2.2.1 Edificio automatizado .....	24
2.2.2 Edificio digital .....	25
2.2.3 Edificio urbótico .....	25
2.2.4 Edificio inteligente .....	25
2.3 CARACTERÍSTICAS DE UN SISTEMA INMÓTICO.....	28
2.4 DISPOSITIVOS DE LOS EDIFICIOS INTELIGENTES.....	30
2.5 ÁREAS DE GESTIÓN DE LA INMÓTICA .....	31
2.5.1 Gestión de seguridad .....	31
2.5.2 Gestión de confort .....	31
2.5.3 Gestión de Energía .....	32

2.6 ARQUITECTURAS DE RED .....	33
2.6.1 Arquitectura centralizada.....	33
2.6.2 Arquitectura descentralizada.....	34
2.6.3 Arquitectura mixta .....	35
2.7 MEDIOS DE TRANSMISIÓN .....	36
2.7.1 Medios de trasmisión guiados.....	36
2.7.2 Medios de trasmisión no guiados.....	39
2.8 SISTEMAS DE COMUNICACIÓN APLICADOS A LA INMÓTICA .....	42
2.8.1 Lonworks.....	42
2.8.2 X-10.....	43
2.8.3 EIB .....	43
2.8.4 EHS.....	44
2.8.5 CEBUS.....	45
2.8.6 BATIBUS.....	45
2.8.7 KNX.....	45
2.9 TÉCNICAS DE CONTROL.....	48
2.9.1 Técnicas de control convencionales.....	48
2.9.2 Técnicas de control no convencional .....	50
2.10 ADQUISICIÓN DE DATOS .....	63
2.11 EMPRESAS DE DOMÓTICA E INMÓTICA EN COLOMBIA .....	66
<b>3. IDENTIFICACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE ELEMENTOS PRIMARIOS DEL</b>	
<b>EDIFICIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA.....</b>	<b>69</b>
3.1 DESCRIPCIÓN DE ESPACIOS Y AMBIENTES DEL EDIFICIO.....	69
3.2 IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE VARIABLES FÍSICAS.....	79
3.3 DISTRIBUCIÓN DE ELEMENTOS PRIMARIOS SOBRE PLANOS .....	82
3.3.1 Recomendaciones para la instalación y optima medición de elementos primarios del sistema inmótico .....	82
<b>4. MODELADO DEL COMPORTAMIENTO DE LAS VARIABLES</b>	
<b>TEMPERATURA-HUMEDAD E ILUMINACIÓN EN UN PREDIO CONOCIDO ...</b>	<b>99</b>

4.1 SENSORES Y PREDIO SELECCIONADO .....	99
4.2 PROGRAMACIÓN DEL PLC S7-1200 Y CONFIGURACIÓN OPC.....	102
<b>5. RED INTELIGENTE BASADA EN LÓGICA DIFUSA.....</b>	<b>120</b>
5.1 MODELO DIFUSO PARA TEMPERATURA- HUMEDAD.....	120
5.2 MODELO DIFUSO PARA ILUMINACIÓN .....	125
5.3 RESULTADOS.....	130
<b>6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>134</b>
6.1 CONCLUSIONES .....	134
6.2 RECOMENDACIONES .....	135
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>136</b>

## **ANEXOS**

### **ANEXO A**

<b>COMPORTAMIENTO DE LAS VARIABLES DE TEMPERATURA-HUMEDAD E ILUMINACIÓN .....</b>	<b>141</b>
---	------------

### **ANEXO B**

<b>CÓDIGOS DE CONTROLADORES DIFUSOS.....</b>	<b>144</b>
--	------------

## LISTA DE TABLAS

TABLA 1: CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIOS DE TRANSMISIÓN GUIADOS	39
TABLA 2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS MEDIOS DE TRASMISIÓN NO GUIADOS	41
TABLA 3. CARACTERÍSTICAS DE LOS PROTOCOLOS INMOTICOS	47
TABLA 4. DATOS TÉCNICOS CPU SIMATIC S7-1200	65
TABLA 5. VARIABLES Y SENSORES PARA EL DISEÑO INMÓTICO	81
TABLA 6. NOMENCLATURA DE ELEMENTOS PRIMARIOS	82
TABLA 7. INDICADORES TÉCNICOS SENSOR DE ILUMINACIÓN	101
TABLA 8. INDICADORES TÉCNICOS DEL SENSOR TEMPERATURA- HUMEDAD	102
TABLA 9. FUNCIONES DE PERTENENCIA, VARIABLE TEMPERATURA	120
TABLA 10. FUNCIONES DE PERTENENCIA, VARIABLE HUMEDAD	121
TABLA 11. FUNCIONES DE PERTENENCIA, VARIABLE SALIDA	122
TABLA 12. INFERENCIA DIFUSA, TEMPERATURA-HUMEDAD	123
TABLA 13. FUNCIONES DE PERTENENCIA, VARIABLE SENSOR 1 Y 2	125
TABLA 14. FUNCIONES DE PERTENENCIA, VARIABLE SALIDA	126
TABLA 15. INFERENCIA DIFUSA, ILUMINACIÓN	127

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. A) METODOLOGÍA TOP DOWN, B) METODOLOGÍA BOTTOM UP.	18
FIGURA 2. CARACTERÍSTICAS DE UN SISTEMA INMÓTICO	28
FIGURA 3. ARQUITECTURA CENTRALIZADA	34
FIGURA 4. ARQUITECTURA DESCENTRALIZADA	34
FIGURA 5. ARQUITECTURA MIXTA	35
FIGURA 6 . DIAGRAMA DE UN CONTROLADOR PID	49
FIGURA 7. ESTRUCTURA DE UNA RED NEURONAL	51
FIGURA 8. ELEMENTOS DE UNA RED DE PETRI	53
FIGURA 9. COMPARACIÓN DE CONJUNTOS	54
FIGURA 10. REPRESENTACIÓN DE TÉRMINOS	55
FIGURA 11. FUNCIÓN SATURACIÓN	56
FIGURA 12. FUNCIÓN HOMBRO	57
FIGURA 13. FUNCIÓN TRIANGULAR	58
FIGURA 14. FUNCIÓN PI	59
FIGURA 15. FUNCIÓN SIGMOIDEA	60
FIGURA 16. ESTRUCTURA DE UN SISTEMA DIFUSO	60
FIGURA 17. CPU SIMATIC S7-1200	65
FIGURA 18. PLANO PRIMER PISO	70
FIGURA 19. PLANO SEGUNDO PISO	74
FIGURA 20. PLANO TERCER PISO	76
FIGURA 21. PLANO CUARTO PISO	78
FIGURA 22. PLANO QUINTO PISO	79
FIGURA 23. PLANO PRIMER PISO, SECCIÓN 1	86
FIGURA 24. PLANO PRIMER PISO, SECCIÓN 2	87
FIGURA 25. PLANO PRIMER PISO, SECCIÓN 3	88
FIGURA 26. PLANO PRIMER PISO, SECCIÓN 4	89
FIGURA 27. PLANO SEGUNDO PISO, SECCIÓN 1	90
FIGURA 28. PLANO SEGUNDO PISO, SECCIÓN 2	91

FIGURA 29. PLANO SEGUNDO PISO, SECCIÓN 3	92
FIGURA 30. PLANO SEGUNDO PISO, SECCIÓN 4	93
FIGURA 31. PLANO TERCER PISO, SECCIÓN 1	94
FIGURA 32. PLANO TERCER PISO, SECCIÓN 2	95
FIGURA 33. PLANO CUARTO PISO, SECCIÓN 1	96
FIGURA 34. PLANO CUARTO PISO, SECCIÓN 2	97
FIGURA 35. PLANO QUINTO PISO, SECCION1	98
FIGURA 36. VISTA INTERNA DEL LABORATORIO	99
FIGURA 37. DISPOSICIONES DEL LABORATORIO	100
FIGURA 38. SENSOR DE ILUMINACIÓN	101
FIGURA 39. SENSOR TEMPERATURA-HUMEDAD	102
FIGURA 40. DIAGRAMA DE CONEXIONES	103
FIGURA 41. CONEXIÓN S7 1200 – COMPUTADOR	104
FIGURA 42. RECONOCIMIENTO PLC	104
FIGURA 43. DETECCIÓN DE HARDWARE PARA PLC	105
FIGURA 44. SEGMENTOS EN LADDER	105
FIGURA 45. TABLA DE VARIABLES, TEMPERATURA-HUMEDAD	106
FIGURA 46. BLOQUES NORM_X Y SCALE_X	106
FIGURA 47. PARÁMETROS EN BLOQUES	107
FIGURA 48. ICONO DE OBSERVACIÓN	108
FIGURA 49. VALORES REALES TEMPERATURA-HUMEDAD	108
FIGURA 50. TABLA DE VARIABLES, ILUMINACIÓN	109
FIGURA 51. BLOQUES NORM_X Y SCALE_X	109
FIGURA 52. VALORES REALES DE ILUMINACIÓN	109
FIGURA 53. CONFIGURACIÓN DDE	110
FIGURA 54. PROPIEDADES	110
FIGURA 55. PROPIEDADES DE PROYECTO	111
FIGURA 56. CONEXIÓN DDE	111
FIGURA 57. NUEVO CANAL EXCEL	112
FIGURA 58. SUB RED DATOS	112

FIGURA 59. VINCULACIÓN SUB-RED Y HOJA DE DATOS	113
FIGURA 60. CANAL PLC	113
FIGURA 61. SUB-RED 1200	114
FIGURA 62. VINCULACIÓN IP	114
FIGURA 63. CANAL, SUB-RED CORRECTOS	115
FIGURA 64. VARIABLE PLC-EXCEL	115
FIGURA 65. VINCULACIÓN CANAL, SUB-RED, TAG	116
FIGURA 66. NEW AVERAGE	116
FIGURA 67. LINK TAG	117
FIGURA 68. COMPORTAMIENTO DE LAS VARIABLES DE TEMPERATURA Y HUMEDAD.	118
FIGURA 69. COMPORTAMIENTO DE LUZ NATURAL	119
FIGURA 70. FUNCIONES DE PERTENENCIA PARA LA ENTRADA TEMPERATURA	121
FIGURA 71. FUNCIONES DE PERTENENCIA PARA LA ENTRADA HUMEDAD	122
FIGURA 72. FUNCIONES DE PERTENENCIA SALIDA	123
FIGURA 73. <i>RULE EDITOR</i>	124
FIGURA 74. VISUALIZADOR DE SUPERFICIE	125
FIGURA 75. FUNCIONES DE PERTENENCIA, ENTRADA SENSOR 1 Y 2	126
FIGURA 76. FUNCIONES DE PERTENENCIA SALIDA	127
FIGURA 77. <i>RULE EDITOR</i>	128
FIGURA 78. VISUALIZADOR DE SUPERFICIE	129
FIGURA 79. DIAGRAMAS DE FLUJO	130
FIGURA 80. ACTIVACIÓN DE REGLAS DIFUSAS, TEMPERATURA-HUMEDAD	131
FIGURA 81. ACTIVACIÓN DE REGLAS DIFUSAS, TEMPERATURA-HUMEDAD	131
FIGURA 82. ACTIVACIÓN DE REGLAS DIFUSAS, ILUMINACIÓN	132
FIGURA 83. ACTIVACIÓN DE REGLAS DIFUSAS, ILUMINACIÓN	133

## INTRODUCCIÓN

El presente proyecto surge debido a los diferentes avances tecnológicos que ha tenido la sociedad, generalizadas en la forma de vivir, comunicarse, e interactuar con el entorno en el cual se encuentran o se desarrolla una cierta acción; dicha evolución se ve reflejada en la incorporación de sistemas autónomos en casas o edificaciones, para mejorar la calidad de vida y de trabajo dentro de estos lugares, en aspectos tales como: comodidad, espacios o ambientes agradables, optimización de recursos entre otros; de esta manera en este proyecto se plantea la distribución de elementos primarios en el edificio de ciencia y tecnología de la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, sede “El Aljibe”, el cual se encuentra proyectado sobre planos.

Actualmente son pocos los edificios que contienen un sistema inmótico implementado en su totalidad, esto debido al bajo conocimiento de las tecnologías utilizadas en el área, además de los costos que esto implica, no obstante algunas edificaciones cuentan con áreas previamente automatizadas, como: sistemas de climatización en bancos, sistemas de regulación de aguas en los baños de los centros comerciales, sistemas de iluminación en oficinas entre otros; por estas razones el proyecto del edificio de ciencia y tecnología de la Corporación Autónoma del Cauca se presenta como una gran innovación en el ámbito local, convirtiéndose en uno de los edificios inteligentes de la región centrado en el aspecto académico.

Desde esta perspectiva este proyecto tendrá como elemento principal en la generación del conocimiento un aporte desde los aspectos metodológicos y de diseño para gestionar y controlar tres variables consideradas como básicas, partiendo desde los procesos cambiantes por medio de sistemas inteligentes, aplicados al caso particular de un edificio, enmarcando el primer acercamiento de

un prototipo de red inteligente escalable que establece el control sobre ambientes por medio de una técnica no convencional.

## DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La Corporación Universitaria Autónoma del Cauca es una institución que lleva más de 30 años formando talento humano comprometido con el desarrollo y sostenibilidad de la región del Cauca y sus alrededores. La Corporación Universitaria Autónoma del Cauca cuenta con un plantel administrativo y académico el cual ha experimentado un crecimiento significativo con el correr de los años, situación que conlleva sin lugar a dudas a ser una institución con gran reconocimiento en la región.

Debido a este crecimiento, la institución ve la necesidad de ampliar su infraestructura, permitiendo de esta manera la generación de nuevos y mejores espacios para el buen funcionamiento y fortalecimiento de las actividades administrativas y académicas.

Actualmente la institución cuenta con 12 sedes, disponibles y dotadas para la realización de los procesos de formación humana y académica de los diferentes programas ofertados; la sede “El Aljibe”, creada para la ampliación de la planta física de la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, albergara al edificio de ciencia y tecnología al servicio de la facultad de ingenierías, el cual ha sido proyectado con ambientes y espacios que permitan el desarrollo de las diferentes actividades de los programas pertenecientes a dicha facultad.

Bajo requerimientos del director de laboratorios de la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca se identificó la necesidad de diseñar una distribución de elementos primarios al servicio de la inmótica en los espacios y ambientes destinados para el edificio de ciencia y tecnología, además en este proyecto se plantea el desarrollo de un prototipo de red inteligente, con el fin de proyectar y escalar gestiones automatizadas que mejoren el confort y los procesos que se desarrollan dentro de la edificación, por medio de un proceso de caracterización

en un predio similar al diseño proyectado por medio de pruebas y recolección de datos, de las variables de temperatura, humedad e iluminación; el edificio de ciencia y tecnología además albergará los pilares del conocimiento para futuras generaciones, es por esto que se hace necesario la creación de un espacio que fomente y cultive buenas prácticas por medio del uso de la tecnología e innovación como herramientas principales que permitan lograr estos objetivos.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 Objetivo general**

Desarrollar un prototipo de una red inteligente para el diseño de un sistema inmótico del edificio de ciencia y tecnología ubicado en la sede “El Aljibe” de la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- Identificar y caracterizar las variables físicas necesarias para el diseño de un sistema inmótico para el edificio de ciencia y tecnología, sede “El Aljibe”.
- Determinar la instrumentación necesaria para el diseño del sistema inmótico basado en distribución de espacios proyectados para el edificio de ciencia y tecnología, sede “El Aljibe”.
- Modelar las variables temperatura, humedad e iluminación, con el fin de escalar su comportamiento al sistema inmótico propuesto.
- Validar el diseño de red inteligente utilizada en el prototipo en circunstancias reales de funcionamiento.

## 1.2 ENFOQUE METODOLÓGICO

Este proyecto de investigación, está conformado por dos etapas, la primera de ellas es de tipo teórica, y la segunda es de tipo experimental; la primera etapa describe el contexto general del tema permitiendo un estudio de la literatura existente con respecto a la domótica e inmótica, además de definir de forma general las diferentes técnicas de control definidas como convencionales y no convencionales, finalmente se realiza una descripción del autómata programable S7-1200 de Siemens con el que se lleva a cabo la adquisición de datos de las variables.

La etapa experimental se encuentra definida por:

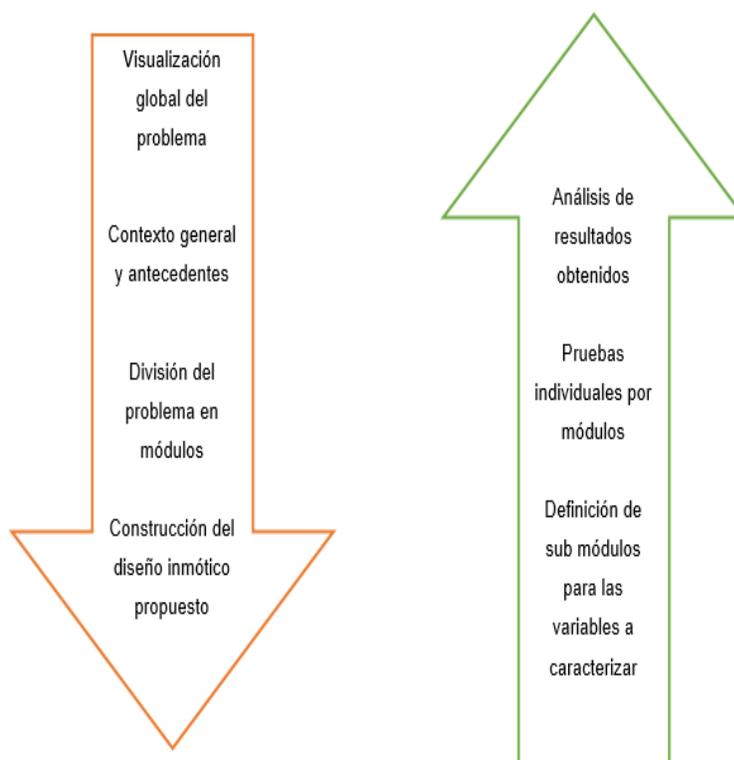
- Adquisición de datos, para modelar el comportamiento de las variables dentro de un predio conocido.
- Construcción de un prototipo basado en control inteligente, el cual hará parte de la red que conforma el predio.
- Pruebas y funcionamiento de la red inteligente por medio de lógica difusa, simulado en el software Matlab.

Las dos etapas descritas anteriormente fueron desarrolladas por medio de la metodología *top down* y *bottom up*, ampliamente utilizadas en el área de simulación y análisis teórico; la metodología *top down* se caracteriza por la construcción de fundamentación teórica, Crespi, Galstyan y Lerman (2008), y fue usada para analizar el problema referente a la distribución de elementos primarios en una edificación, comenzando por los aspectos generales de la domótica e inmótica, avanzando gradualmente hasta realizar en planos la distribución de dichos elementos.

Por su parte la metodología *bottom up* fue utilizada para la construcción de la red inteligente posterior a la caracterización de las variables de temperatura, humedad e iluminación, esta metodología asocia y agrupa pequeñas particularidades del sistema a ejecutar conformado por sub sistemas definidos con anterioridad. (Crespi et al., 2008)

En la figura 1, se puede apreciar las características más relevantes de las metodologías descritas:

Figura 1. a) metodología *top down*, b) metodología *bottom up*.



Fuente: Elaboración propia

### **1.3 TRABAJOS RELACIONADOS**

A continuación, se citan los trabajos relacionados para el desarrollo de este documento:

En Chala (2014), se plantea un estudio de factibilidad para el diseño de un laboratorio de domótica, implementando sistemas KNX, con el objetivo de establecer parámetros teóricos y prácticos en el desarrollo de instalaciones automatizadas.

En Pérez y Urdiales (2013), los autores realizan el diseño de un sistema inmótico para un parque acuático, enfocados en los aspectos de seguridad e iluminación por medio de la tecnología Lonworks.

Por su parte en Porras (2012), el autor plantea un prototipo inmótico de bajo costo, aplicado al ahorro energético en el edificio de laboratorios de la universidad católica Andrés Bello, realizando una descripción de los diferentes ambientes de la edificación.

En Cobos, Loayza, y Garay (2006) los autores plantean la utilización del protocolo Lonworks, en el edificio de la facultad de electricidad y computación de la Escuela Superior Politécnica del Litoral, para el aumento de confort en las diferentes plantas del mismo, apoyados en la proposición de elementos comerciales.

En Bouzas (2005), se realiza un estudio referente a la domótica y la inmotica, además de presentar los componentes básicos para automatizar un edificio al punto de clasificarlo como inteligente.

En Navarrete (2005), el autor presenta un estudio sobre las estructuras de redes, los medios de comunicación y los diferentes protocolos al servicio de la domótica,

basado en la fundamentación teórica y funcional de cada uno de los aspectos mencionados anteriormente.

En Diago (2015), el autor plantea una técnica de optimización bionspirada en una problemática real, la cual involucra un sistema de elevadores dentro de una edificación, además esboza de forma general las metodologías de control no convencional, validando su estudio por medio de comparaciones de resultados con otros autores.

En Jiménez (2012), el autor plantea un controlador difuso para un horno de tipo industrial, además establece criterios de diseño mediante la plataforma Labview, realizando una descripción detallada de cada uno de los elementos que conforman el sistema de control.

Por su parte Lara (2011), realiza de forma general la descripción de controladores desarrollados por lógica difusa, enfoca su investigación en el control de iluminación en espacios académicos para establecer parámetros de ahorro energético.

En Martínez (2010), el autor esboza las características de la termodinámica aplicada a recintos de tipo unifamiliar, por medio del desarrollo de un prototipo de refrigerador controlado por lógica difusa.

En García (2010), se presenta un estudio psicométrico de un recinto, estableciendo una caracterización de las variables de temperatura y humedad dentro del mismo, validado por medio de simulación en la plataforma Matlab.

Finalmente, en Jiménez (2000), la autora presenta los conceptos en los cuales se fundamente la lógica difusa, realizando diferentes ejemplos tales como, un péndulo invertido, una caldera y un motor, mediante la plataforma Matlab.

## **1.4 ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO**

En el capítulo 2 se presenta el contexto general por medio de la fundamentación teórica necesaria para el desarrollo de este trabajo de investigación, abordando temas como : definiciones, características, medios de transmisión, arquitecturas protocolos, empresas colombianas al servicio de la inmótica, además de presentar las técnicas de control convencionales y no convencionales, de las cuales se realiza mayor énfasis en la lógica difusa ya que es la técnica utilizada, finalmente se establece la descripción del autómata programable S7-1200 de Siemens.

En el capítulo 3, se identifican los elementos primarios para el diseño inmótico del edificio de ciencia y tecnología de la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, además se realiza una descripción de los ambientes y espacios que se encuentran proyectados sobre planos, posteriormente se ejecuta la distribución de elementos primarios, definiendo una nomenclatura propuesta por los autores, además de establecer recomendaciones en circunstancias de instalación respecto a las mediciones de las variable a escalar.

En el capítulo 4, se realiza la descripción del predio y de los sensores seleccionados, utilizados para realizar el modelado de las variables, luego se esboza los diferentes pasos tenidos en cuenta para la adquisición de datos, finalmente se presentan gráficamente los comportamientos de las variables dentro del predio durante un periodo académico de ocho horas.

En el capítulo 5, se presenta el desarrollo de la red inteligente por medio de la lógica difusa, apoyado en el software Matlab. En el capítulo 6, se realizan las

conclusiones y recomendaciones, finalmente, se presenta la bibliografía de este documento.

## **2. CONTEXTO GENERAL**

### **2.1 DOMÓTICA**

En la década de 1970, se originó a nivel mundial una crisis en el aspecto energético, debido a la dificultad petrolera que se presentaba por aquel entonces, la cual produjo un alza en el valor del crudo, obligando a las potencias industriales a rediseñar y reorientar sus tecnologías. (Roel, 1998)

La reorientación tecnológica producida en los años 70 se promovió principalmente en Estados Unidos y Europa, territorios que habían marcado un desarrollo significativo en el campo de la electrónica; esta rama de la ingeniería permitió la realización de dispositivos electromecánicos los cuales se usaban en hogares y edificios, principalmente para el control de temperatura e iluminación, con el fin de colaborar con el impacto energético desencadenado para la época. (Roel, 1998)

Es así que surge el concepto de domótica, o denominada en aquel momento como sistema integrado de aplicaciones electromecánicas, la cual permitía regular y controlar las acciones de estos dispositivos, de forma responsable basados en el consumo energético además de garantizar la seguridad y comodidad en hogares y edificios.

Por otra parte, el término domótica se relaciona de la unión de dos palabras, siendo la primera de ellas domo que etimológicamente proviene del latín “*domus*” que significa casa, y “*tica*” que se adapta de la palabra automática, lo cual en conjunto establece la connotación de casa que funciona por sí sola. (Romero, Vásquez & Castro, 2011)

En el diccionario de la Real Academia Española, se define el termino como: “El conjunto de sistemas que automatizan las diferentes instalaciones de una vivienda” (Rae, 2003).

Por otro lado, Lapine, Puschini, Wainerman, Crespo, Ballari, Molina y Olsina (2001), definen a la domótica como: “La disciplina que estudia el desarrollo de infraestructuras inteligentes en casas, así como también las tecnologías de información para soportarlas.”

Por su parte Bravo, Ortega y Verdejo (2000), establecen que: “La domótica es un conjunto de elementos que, al ser instalados, interconectados y controlados de forma automática, salva al usuario de preocuparse respecto a las diferentes rutinas cotidianas, generando mejoras en aspectos como el confort, consumo energético, seguridad y comunicaciones.”

En conclusión, se puede definir que la esencia de la domótica comprende de forma técnica la aplicación de sistemas electrónicos en viviendas unifamiliares, de esta forma se establece como una rama de la ingeniería que plantea técnicas de automatización y gestión de componentes físicos que conforman una estructura arquitectónica según particularidades en el uso residencial, los cuales interactúan con el medio, basándose en un funcionamiento coordinado y óptimo.

## **2.2 INMÓTICA**

Cuando se traslada el concepto de domótica a edificios terciarios, surge la definición de inmótica; la cual establece procesos de automatización aplicada a estructuras de uso no residencial, como hospitales, universidades, centros

comerciales, fabricas, entre otros, orientada no solo a la calidad de vida, sino a la calidad del trabajo. (Romero et al., 2011)

Según la asociación española de domótica e inmotica, se define a la inmótica como la incorporación del equipamiento de edificios singulares o privilegiados de sistemas de gestión técnica automatizada. (Cedom, 2016)

Por consiguiente es posible apreciar por medio de las definiciones citadas anteriormente, que la domótica y la inmótica se encuentran indiscutiblemente ligadas, radicando sus diferencia en las áreas de aplicación, ya que la domótica se dedica a la automatización de viviendas y la inmótica radica su objetivo en la automatización de edificios; este proceso de automatización aplicado al diseño y construcción de edificaciones ha llevado en los últimos años a enfatizar en el concepto de edificios inteligentes, a continuación se describen algunas de las definiciones más utilizadas para dicho termino:

### **2.2.1 Edificio automatizado**

Según Romero et al., (2011) se establece como cualquier vivienda o edificio que tenga algún tipo de automatismo, con sistemas no integrados entre sí, pero estableciendo una respuesta adecuada frente a cualquier acción dentro del recinto actuando de manera consecuente, a las operaciones requeridas por el usuario.

Actualmente los ejemplos típicos de edificaciones automatizados son los centros comerciales, edificios de oficina y bancos, los cuales manejan servicios como: escaleras eléctricas, sistemas de calefacción, control de iluminación entre otros.

### **2.2.2 Edificio digital**

Se puede decir que el edificio digital es el hogar del futuro donde el objetivo principal es la integración de servicios de entretenimiento, comunicaciones, y sistemas de seguridad, en este tipo de edificio la comunicación por redes de banda ancha es la característica primordial, permitiendo de esta manera formar lo que se conoce como *Home Networks*. (Romero et al., 2011)

### **2.2.3 Edificio urbótico**

En la actualidad es un término poco utilizado, que se refiere a la aplicación de las tecnologías domóticas e inmóticas en las ciudades, las cuales se denominarían ciudades inteligentes, dichas ciudades inteligentes estarían basadas en conceptos de ordenación urbana, distribución de espacios, telecomunicaciones digitales y una automatización basada en un buen grado de calidad de vida de sus habitantes y de competitividad económica. (Romero et al., 2011d)

### **2.2.4 Edificio inteligente**

El concepto de edificio inteligente gira alrededor de los principios de diseño interdisciplinario, flexibilidad, integración de servicios, administración eficiente y mantenimiento preventivo. (Fabara, 2008)

Por consiguiente, a un edificio inteligente se lo puede definir como aquella edificación que, desde su diseño hasta la ocupación por el usuario final, centra su objetivo en el ahorro de energía y en el manejo adecuado de los diferentes recursos, además de gestionar y tomar decisiones frente a factores climatológicos,

factores humanos o factores previamente establecidos, en cada una de las áreas que se requiera algún tipo de acción controlada, permitiendo considerablemente la mejora en la calidad de vida y de trabajo. (Ramírez, 2012)

Para definir las áreas de inteligencia de un edificio, se tomó como modelo de referencia la clasificación descrita por Arciniegas (2005) como: servicios de automatización del edificio, y servicios basados en tecnologías de la información, las cuales se describen a continuación:

#### **2.2.4.1 Servicios de automatización**

##### **Nivel A0**

Este nivel contiene las siguientes características:

- Pocas instalaciones técnicas automatizadas
- No se realizan procesos de control
- No existe ningún tipo de integración de equipos

##### **Nivel A1**

Este nivel contiene las siguientes características:

- Existen sistemas de control en configuración centralizado en las instalaciones del edificio
- Sistemas de control funcionando independientemente.

##### **Nivel A2**

Este nivel contiene las siguientes características:

- Las instalaciones están controladas, se encuentran integradas, y se realizan sistemas de supervisión del edificio.

#### **2.2.4.2 Servicios basados en tecnologías de la información**

##### **Nivel I1**

Este nivel contiene las siguientes características:

- Existen servicios de automatización, servicios de telecomunicaciones, mas no están integrados.

##### **Nivel I2**

Este nivel contiene las siguientes características:

- Existe un funcionamiento coordinado de los equipos instalados.
- Existe un entorno RDSI (Red digital de servicios integrados)

Tomando las combinaciones significativas de estos niveles (A0, A1, A2) con los niveles (I1, I2), se obtiene los grados de inteligencia para un edificio:

##### **(A1, I1)**

- Grado de inteligencia mínimo
- Grado de integración mínimo
- Mayor gestión en procesos de mantenimiento

##### **(A1, I2)**

- Integración de los sistemas de automatización
- Integración de los equipos de tecnología de la información

**(A2, I1)**

- Grado de inteligencia mediano
- Grado de integración intermedio

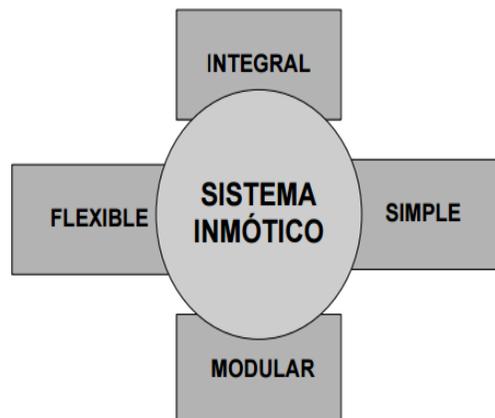
**(A2, I2)**

- Grado de inteligencia máximo
- Grado de integración máximo
- Sistemas constantes de supervisión.

### **2.3 CARACTERÍSTICAS DE UN SISTEMA INMÓTICO**

Las principales características que debe presentar un sistema inmótico según Huidobro y Millán (2004) son:

Figura 2. Características de un sistema inmótico



Fuente: (Huidobro & Millán., 2004)

- **Flexible**

El sistema inmótico debe prever los diferentes escenarios a los cuales debe adaptarse en circunstancias de corto o largo plazo, tales como modificaciones o ampliaciones del sistema, sin representar un costo elevado o un esfuerzo tecnológico considerable.

- **Modular**

El sistema inmótico debe ser modular, para permitir una fácil ampliación de nuevos servicios que se requieran dentro del edificio, no obstante, la modulación también establece la reducción de fallos que afecten al edificio, correspondientes a la detección de errores, y propagaciones a nivel local.

- **Integral**

El sistema inmótico debe ser integral, esto indica que debe existir una comunicación entre los subsistemas establecidos dentro de la edificación para el intercambio de información, en otras palabras, todo subsistema aislado debe ser capaz de integrarse al sistema inmótico para ser controlado.

- **Simple**

El sistema inmótico debe ser simple y fácil de utilizar para los usuarios finales, de esta manera el sistema será acogido de una buena forma, además de establecer

una operatividad sencilla e intuitiva con respecto a los entornos establecidos entre el usuario y el entorno a manipular.

## **2.4 DISPOSITIVOS DE LOS EDIFICIOS INTELIGENTES**

Los dispositivos que conforman un edificio inteligente, están comprendidos dentro de una red, esta red inmotica generalmente se divide en dos partes, la primera de ellas se encarga de interactuar con el entorno y de ejecutar los procesos de control por medio de los elementos seleccionados, y la segunda proporciona al usuario la monitorización de los dispositivos instalados en la edificación; por consiguiente el prototipo se enfoca en la primera división de una red inmotica, dotada de inteligencia gracias a la utilización del control no convencional por medio de la técnica de lógica difusa.

Los dispositivos que permiten automatizar de forma inteligente un edificio según Romero et al., (2011) son:

**Sensores:** Son los elementos o dispositivos que emplea el sistema para recoger la información del entorno, establecidos en diferentes parámetros que pueden ser: temperatura, humedad, iluminación, presencia, gases entre otros.

**Actuadores:** Son los elementos que se utiliza el sistema para modificar el estado o los parámetros de ciertos equipos e instalaciones, estos elementos reciben las órdenes del sistema de control para modificar los estados de actuación de los dispositivos que se controlan.

**Controlador:** Es el elemento que recoge los datos que envían los sensores, adicionalmente procesa y envía las ordenes adecuadas a los actuadores.

## **2.5 ÁREAS DE GESTIÓN DE LA INMÓTICA**

La inmótica presenta áreas de gestión, estos servicios generalmente se dividen en tres grupos relacionados entre sí, los cuales gestionan la seguridad, el confort, y la eficiencia energética, definidas a continuación:

### **2.5.1 Gestión de seguridad**

La gestión de seguridad y vigilancia, proporciona e integra tres campos de la seguridad, uno denominado control patrimonial o de bienes el cual incluye parámetros de gestión del control de accesos, presencia, e intrusismo, combinando sistemas de cámaras y sensores que permiten detectar la presencia de personas no deseadas en el interior o en el exterior de la edificación; seguido por la tele asistencia generalizado en apoyo de personal con acceso a los diferentes servicios de seguridad y finalmente eventos de emergencia o denominada también seguridad técnica, que permiten la monitorización de eventos y la ejecución de estados de alarmas frente a detección de averías de agua, gas e, incendios; cabe esclarecer que en la actualidad dichos aspectos funcionan y son controlados por sistemas independientes. (Domínguez & Sáez, 2006)

### **2.5.2 Gestión de confort**

Consiste en otorgarle al usuario ciertas comodidades que establecen una mejora en su calidad de vida y de trabajo en el medio en el cual se encuentre, por medio del control automático de servicios como: climatización, iluminación, manipulación de persianas, sistemas de riego para zonas verdes, reportes de humedad entre

otros, no obstante, es de considerar que el concepto de confort es relativo, ya que se establece de acuerdo a cada persona. (Domínguez & Sáez, 2006)

Las principales funciones correspondientes a la gestión del confort según Navarrete (2005) son:

- Supervisión automatizada de los diferentes dispositivos.
- Control de climatización, por medio de la regulación y el control de sistemas de calefacción y aire acondicionado.
- Encendido, apagado o regulación de iluminación en puntos específicos por medio de detección de presencia o mediciones de luz ambiente en la edificación.
- Sistemas por escenas, representadas en secuencias de acciones que se ejecutan con una sola orden, o al presentarse un evento definido por el usuario.

### **2.5.3 Gestión de Energía**

Se establece una orientación hacia el consumo eficiente de energía en los diferentes elementos controlados en el sistema, gestionados por medio de cargas eléctricas, y zonificación del confort. (Institut Idefons Cerdà, 2000)

Dentro de las funciones que se establecen dentro de la gestión de la energía, se distinguen a su vez aspectos tales como: eventos programables, optimizables, regulables, con el fin de integrar los dispositivos con el sistema inmótico, lo cual establece acciones según (Navarrete, 2005):

- Racionalización de cargas eléctricas por medio de dispositivos que ejecuten la conexión y desconexión selectiva de equipos en función del consumo eléctrico.
- Ahorro de energía por medio de acumuladores de carga o la puesta en marcha de dispositivos en horas de tarifas reducidas, por medio de sistemas de medición y control.
- Manejo de curvas de demanda con información referente a consumos y costos de los diferentes servicios de la edificación.

## **2.6 ARQUITECTURAS DE RED**

Las áreas de gestión inmótica, requieren a su vez de una arquitectura de red adecuada, es decir el tipo de conexión entre distintos elementos con referencia principal al controlador del sistema, a continuación, se tiene:

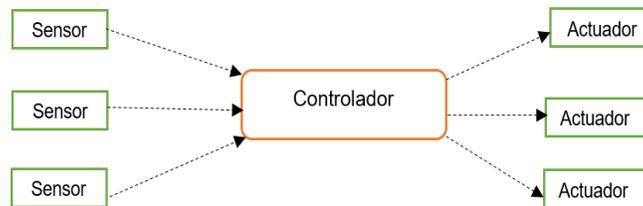
### **2.6.1 Arquitectura centralizada**

Esta arquitectura de red se caracteriza por contener un elemento de control central, en donde todos los dispositivos están conectados hacia él, generalizados en un único nodo. (Herrera, 2005)

En este tipo de arquitectura los dispositivos primarios, recogen toda la información del edificio referente a variables físicas y por medio del cerebro central se realiza el análisis de decisiones, enviando información a los dispositivos actuadores para que las realicen las acciones correspondientes. (Herrera, 2005)

No obstante, ante una falla del controlador central el sistema colapsa ya que no se encuentran caminos de respaldo; este tipo de arquitecturas tienen un costo menor ya que solo utiliza un controlador para todo el sistema. (Herrera, 2005)

Figura 3. Arquitectura centralizada

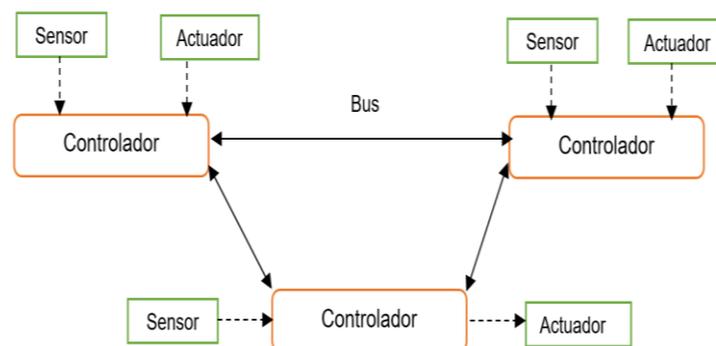


Fuente: Elaboración propia

## 2.6.2 Arquitectura descentralizada

La arquitectura descentralizada, sitúa el sistema de control próximo al elemento a controlar compartiendo la misma línea de comunicación dando al sistema gran flexibilidad, en este tipo de arquitectura, todos los dispositivos pueden ser productores o consumidores de información, y a la vez pueden procesar esta información, para gestionar acciones óptimas. (Cobos et al., 2006)

Figura 4. Arquitectura descentralizada



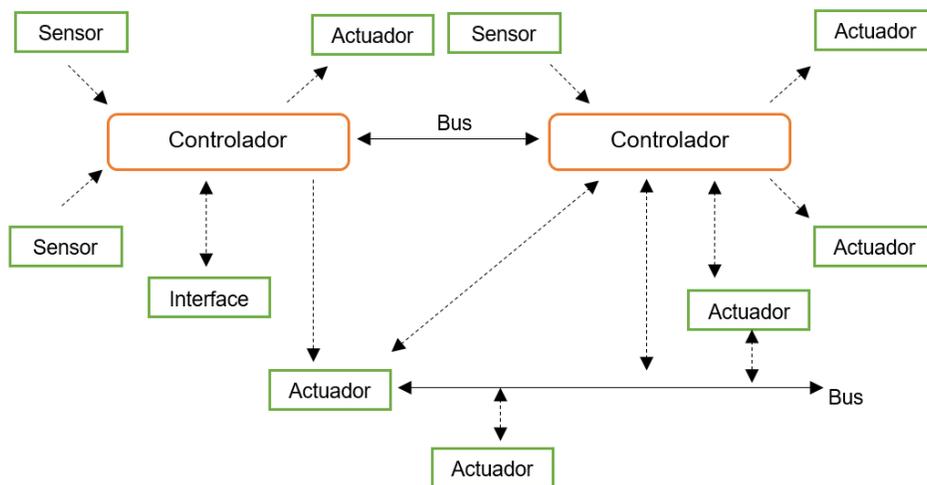
Fuente: Elaboración propia

### 2.6.3 Arquitectura mixta

Los sistemas mixtos son aquellos que incorporan ambas topologías expresadas anteriormente, con varios controladores, sensores y actuadores que pueden realizar funciones independientemente. (Porrás, 2012)

En este tipo de arquitecturas existen varios controladores cerca de los dispositivos primarios y de los actuadores existentes dentro de la edificación, en este tipo de arquitectura los sensores y actuadores pueden comportarse como controladores procesando información estando en la misma red. Esta arquitectura presenta algunas ventajas respecto a la arquitectura centralizada expuesta anteriormente, pues la tarea del control se reparte convenientemente entre diferentes elementos de control, esto trae como consecuencia que el cableado se tienda a reducirse, además si existiese algún fallo en alguna de las unidades de control que conforman la arquitectura, éste sólo va a afectar a los elementos que tenga unidos a su módulo y por tanto podrá seguir funcionando el sistema. (Chala, 2014)

Figura 5. Arquitectura mixta



Fuente: Elaboración propia

## **2.7 MEDIOS DE TRANSMISIÓN**

En todo sistema inmótico se necesita de un medio para transmitir la información, entre los diferentes dispositivos o elementos que se estén utilizando; en la actualidad se les puede clasificar en dos grupos, denominados: medios de transmisión guiados, y medios de transmisión no guiados; los medios guiados proporcionan un camino físico a través del cual la señal se propaga; por su parte, los medios no guiados utilizan una antena para transmitir a través del aire, el vacío o en el agua. (Automatización Integral de edificios, 2012)

### **2.7.1 Medios de transmisión guiados**

En este tipo de transmisión se distingue el cableado propio, en la actualidad se utilizan el cable de par trenzado, el cable coaxial, y la fibra óptica.

- **Cable de par trenzado**

Es uno de los cables más antiguos tanto en uso como en el mercado, generalmente utilizado en servicios de telefonía; un par trenzado consiste en dos cables que se encuentran entrelazados entre sí, esto con el fin de reducir las diferentes interferencias eléctricas, además se encuentra rodeado por un aislante generalmente una cubierta de PVC (poli-cloruro de vinilo); por consiguiente, un cable de par trenzado está formado por uno o varios pares entrelazados, estos tipos de cables se clasifican dependiendo de su uso, los cuales pueden ser de 2,4,8, hasta 300 pares. (Automatización integral de edificios, 2012)

Actualmente existen dos variantes de pares trenzados: apantallados y sin apantallar, descritos de forma general a continuación:

El par trenzado no apantallado denominado también UTP (*Unshielded Twisted Pair*) es un tipo de cable que no contiene protección metálica, la cual rodee a los pares ni al cable, se utiliza como cable estructurado, contiene cuatro pares trenzados, en el estándar EIA-568-A, se consideran tres categorías de cables UTP, según Navarrete (2005):

- Tipo 3: Cables y hardware asociado, diseñados para frecuencias de hasta 16 MHz.
- Tipo 4: Cables y hardware asociados, diseñados para frecuencias de hasta 20 MHz.
- Tipo 5: Cables y hardware asociados, diseñados para frecuencias hasta de 100 MHz.

El par trenzado apantallado denominado también STP (*Shielded Twister Pair*), maneja en cada par una malla conductora, la cual recubre los pares, adicionalmente actúa de pantalla frente a las diferentes interferencias y ruido eléctrico, sin embargo, el STP es más costoso que el UTP y requiere de un mayor manejo al momento de instalación. (Navarrete, 2005)

- **Cable Coaxial**

Este tipo de cable se utiliza principalmente para la transmisión de información de voz, audio y video a frecuencias altas, lo que permite una gran resistencia a las diferentes interferencias externas. (Automatización integral de edificios, 2012)

El cable coaxial se encuentra formado por dos conductores concéntricos, es decir que comparten un eje de simetría, el primer conductor se encuentra compuesto

por un hilo de cobre, el cual se encarga de transmitir la información, el segundo conductor se constituye en una malla de cobre, esta malla tiene como función generar una tierra y permitir el retorno de la señal, este tipo de cable tiene un diámetro aproximado entre 1 centímetro y 2.5 centímetros, además permite cubrir distancias entre 185 metros hasta los 1500 metros. (Navarrete, 2005)

- **Fibra Óptica**

En la actualidad es el cable que presenta mayor aislamiento frente a interferencias y ruido, alcanza grandes longitudes sin presentar atenuaciones en la señal; la fibra óptica tiene forma cilíndrica y está compuesta por tres secciones concéntricas: el núcleo, el revestimiento y la cubierta. (Hinojosa, 2007)

El núcleo es la sección más interna, está constituido por una o varias fibras de cristal o plástico, con un diámetro entre 8 y 100  $\mu\text{m}$ ; cada fibra se encuentra rodeada por su propio revestimiento, que es otro cristal o plástico con propiedad óptica, generado por la separación entre el núcleo y el revestimiento el cual actúa como un reflector, confinando así el haz de luz, finalmente la capa más externa que envuelve uno o más revestimientos se denomina cubierta; la cubierta está hecha de plástico que permite la protección frente a la humedad, la abrasión, posibles deformidades entre otros. (Hinojosa, 2007)

En la tabla 1 se indican las principales características de los medios de transmisión guiados, así como ventajas y desventajas descritas de forma general.

Tabla 1: Características de los medios de transmisión guiados

Medio de Transmisión	Rango de frecuencias	Retardo típico	Ventajas	Desventajas
Par trenzado	0-3.5 KHz	50 $\mu$ s/km	Bajo costo, fácil instalación	Escasa transmisión de información.
Cable coaxial	0-500 MHz	4 $\mu$ s/km	Bajo costo, fácil instalación	No inmune a ruido, interferencias electromagnéticas
Fibra óptica	180-370THz	5 $\mu$ s/km	Alta velocidad de transmisión, seguridad de información, inmune frente a radiofrecuencias	Costo elevado de cables y conexiones, adaptación óptica.

### 2.7.2 Medios de transmisión no guiados

Los medios de transmisión no guiados o inalámbricos, presentan una reducción de costos, principalmente por el no requerimiento de cables y conexiones físicas en los nodos, no obstante, se encuentran afectadas por diferentes agentes externos del medio ambiente, por lo que requieren procesos de codificación de información.

A continuación, se mencionan los medios de transmisión no guiados más utilizados:

- **Wi-Fi**

Es una tecnología creada en 1990 por la IEEE basado en el estándar 802.11, para redes inalámbricas, es una de las más usadas actualmente gracias a su relación

costo beneficio y llega a tener un alcance de hasta 300 metros, los estándares 802.11b y 802.11g son los más comunes y usan frecuencias de 2.4Ghz definida por la IUT, y aunque algunos países regulan estas frecuencias, estas siempre oscilan entre este valor. (Automatización integral de edificios, 2012)

- **Zigbee**

Es un estándar para redes inalámbricas, creada por empresas que se encuentran vinculadas en la fabricación de semiconductores, tales como: Motorola, Philips, Invensys, Mitsubishi; opera bajo el estándar IEEE 802.15.4, el cual maneja bajas tasa de transmisión de información, con velocidades desde los 20 kbps hasta los 250 kbps, manejando a su vez distancias optimas entre los 10 metros hasta los 75 metros. (Automatización integral de edificios, 2012)

Las redes zigbee pueden estar formadas hasta por 255 nodos, estableciendo la mayoría del tiempo un receptor zigbee el cual permanecerá inactivo mientras no reciba ninguna instrucción, esta consideración se plantea para generar menos consumo a diferencia de las otras tecnologías inalámbricas. (Automatización integral de edificios, 2012)

- **Bluetooth**

El Bluetooth es una tecnología inalámbrica para el intercambio de datos en distancias cortas, definidas en valores menores a 100 metros, este medio de transmisión fue creado en el año de 1999 por el proveedor de telecomunicaciones de la empresa Ericsson, concebido en sus inicios como una alternativa inalámbrica a la comunicación RS232; Bluetooth tiene un rango de frecuencias entre 2.402

GHz a 2.480 GHz, estableciendo una banda libre que permite su utilidad en aplicaciones de criterios ICM. Es una tecnología utilizada en las redes de tipo WPAN, la cual permite la transmisión de voz y datos entre dispositivos mediante radiofrecuencia a corto alcance. (Automatización integral de edificios, 2012)

- **Infrarrojos**

Los infrarrojos basan su comunicación en primera instancia entre un diodo emisor, el cual emite una luz en la banda infrarroja, sobre la cual se superpone una señal modulada con la información de control, y un dispositivo fotodiodo como receptor, el cual se encarga de extraer la señal recibida; no obstante, al tratarse de un medio de transmisión óptico es inmune a las radiaciones electromagnéticas producidas por los diferentes dispositivos que se encuentren en la edificación. (Automatización Integral de edificios, 2012)

A continuación, en la tabla 2, se citan de forma general ventajas y desventajas de los medios de transmisión no guiados.

Tabla 2. Ventajas y desventajas medios de transmisión no guiados

Medio de transmisión	Ventajas	Desventajas
<b>Infrarrojos</b>	<p>Aplica para cualquier inmueble.</p> <p>Es de fácil manejo y uso.</p> <p>Posee alta seguridad en la transferencia.</p>	<p>Distancias cortas entre dispositivos.</p> <p>Necesita línea de visión entre equipos.</p> <p>Baja velocidad de transmisión.</p>
<b>Radiofrecuencia (Bluetooth, Wifi, ZigBee)</b>	<p>Fácil interpretación de las comunicaciones.</p> <p>No necesita línea de visión entre equipos.</p> <p>Permite grandes distancias para</p>	<p>Alta sensibilidad frente a las interferencias, dispositivos emisor-receptor.</p> <p>Mayores costos de equipos.</p> <p>Vulnerable a interferencias.</p>

	conexión entre equipos.	
--	-------------------------	--

## 2.8 SISTEMAS DE COMUNICACIÓN APLICADOS A LA INMÓTICA

Los sistemas de comunicación o protocolos se han desarrollado para permitir las comunicaciones entre los diferentes elementos implementados en el sistema inmótico.

En la actualidad existen protocolos denominados estándar, los cuales fueron creados por agrupaciones de empresas, con el objetivo de asociar dispositivos inmóticos compatibles de diferentes fabricantes; también existen los protocolos denominados propietarios en donde cada fabricante de dispositivos inmóticos establece y propone su propio protocolo de comunicación. (Chala, 2014)

A continuación, se presentan los protocolos más utilizados en sistemas inmóticos:

### 2.8.1 Lonworks

Este protocolo fue lanzado al mercado en el año de 1992 por la compañía norteamericana *Echelon Corp*, es aplicado a sistemas distribuidos y utiliza como medio de transmisión el cable dedicado, no obstante, puede utilizar una gran variedad de medios de transmisión, es característico por su fiabilidad y robustez, por lo cual su implementación resulta actualmente costosa. (Pérez & Urdiales, 2013)

Se caracteriza por presentar un estándar abierto a cualquier fabricante en el mercado, se basa en una arquitectura descentralizada, extremo a extremo que permite distribuir inteligencia entre los sensores y actuadores previamente

instalados, cubriendo desde el nivel físico al nivel de aplicación por medio de nodos independientes interconectados entre sí, establece comunicación por medio de paquetes de datos mediante direcciones. (Pérez & Urdiales, 2013)

### **2.8.2 X-10**

El protocolo X-10 fue desarrollado en el año de 1975 por la empresa *Pico Electronics* ubicada en Escocia, bajo el objetivo de permitir el control remoto de los dispositivos domésticos. (Navarrete, 2005)

El protocolo X-10 es un estándar con transmisión por la línea eléctrica, este estándar fue introducido en el mercado por primera vez en el año de 1978, por las empresas *Sears Home System* y *Radio Shack Plug'n Power System*, el protocolo actualmente se encuentra en Europa con tres grandes familias de productos compatibles entre sí, siendo estas *Netzbus*, *Timac* y *Home system*. (Navarrete, 2005)

X-10 basa su funcionamiento en la inyección y lectura de las señales contenidas en la línea eléctrica, dichas señales son transmitidas con ráfagas de frecuencia de 120 KHz, la cual representa información digital; posteriormente la transmisión de señales se sincroniza con el punto de cruce por cero de la corriente eléctrica, dicha sincronización se representa por medio de bits (0 ,1). (Navarrete, 2005)

### **2.8.3 EIB**

El protocolo EIB o *European Installation Bus*, fue desarrollado por la unión europea, con el propósito de contrarrestar las importaciones de productos que se estaban produciendo masivamente desde el mercado japonés y norteamericano;

en síntesis, EIB establece un único estándar europeo, con el suficiente número de fabricantes, usuarios e instaladores, lo cual permite comunicar a todos los dispositivos que se encuentren en una instalación eléctrica. (Bouzas, 2005) & (Navarrete, 2005)

El protocolo EIB es un sistema descentralizado, por lo cual cada dispositivo puede ejercer funciones autónomas o en relación con otros dispositivos; no obstante, al ser un sistema descentralizado si algún elemento falla, este puede funcionar de forma parcial, debido a que los dispositivos conectados en el bus de comunicación tienen su propio controlador y elementos de acceso al medio. (Bouzas, 2005) & (Navarrete, 2005)

#### **2.8.4 EHS**

El protocolo EHS o *European Home System*, fue propuesto por la empresa Trialog, y posteriormente adoptado por la EHSA (European Home System Association), esta tecnología europea, tiene como fin la implantación de la domótica en el mercado residencial de forma masiva; este protocolo está basado en una topología de niveles, tales como niveles físicos, de enlace de datos, red y aplicación, fundamentados en el modelo *OSI* (interconexión de sistemas abiertos). (Navarrete, 2005)

Desde su origen han estado involucrados los fabricantes europeos más influyentes en el área de electrodomésticos, además de empresas eléctricas, operadoras de telecomunicaciones y fabricantes de equipos eléctricos; la idea de EHS es la interconexión de los diferentes productos de dichos fabricantes y proveedores por medio de un protocolo abierto. (Navarrete, 2005)

### **2.8.5 CEBUS**

Este protocolo surgió en el año de 1984, cuando miembros de la empresa norteamericana *Electronics Industry Association* se propusieron unificar los protocolos de señalización infrarroja para el control a distancia de diferentes electrodomésticos; el protocolo se expandió al ámbito de la domótica hasta el año de 1992. (Navarrete, 2005)

El medio de transmisión del protocolo Cebus puede ser a través de la red eléctrica, cable de par trenzado, cable coaxial, fibra óptica y bus de audio y video; los diferentes dispositivos pertenecientes a Cebus se comunican por medio de mensajes, cuyo formato es de carácter independiente al medio de transmisión empleado, por esta razón Cebus establece una red de comunicación a nivel lógico lo que accede a su vez a recibir tramas con destino a diferentes dispositivos además de los mensajes individuales. (Navarrete, 2005)

### **2.8.6 BATIBUS**

Batibus fue desarrollado por la empresa de origen francés Merlin Gerin, el protocolo se aplica en sistemas centralizados, utilizando el cable de par trenzado como medio de transmisión, el protocolo trabaja a una velocidad de 4800 bps, con capacidad de administrar 500 nodos de control. En una red Batibus, todos los elementos interpretan la información que ha sido transmitida y la procesa, pero aquellos dispositivos que hayan sido programados para dicha función, filtrarán la trama y la subirán a la aplicación de cada dispositivo, para ejercer una respuesta en el sistema. (Navarrete, 2005)

### **2.8.7 KNX**

En Europa se han destacado los protocolos Batibus y EIB, ya que ambos sistemas han proyectado productos domóticos e inmoticos similares hacia el mismo mercado, pero empleando diferentes protocolos, topologías y medios físicos no compatibles entre sí; por otro lado, EHS ha sido impulsado y avalado por la comisión europea, apoyado de igual manera por medianas y pequeñas compañías europeas, con el objetivo de definir un marco genérico que establezca la estandarización de estos sistemas. (Huidobro & Millan, 2004)

Por consiguiente, en el año de 1996, EHSA, BCI Y EIBA crean un foro común para definir la convergencia de estos tres estándares, con el fin de unificar los criterios entre los protocolos, a su vez crear una norma común que obtenga lo mejor del EIB, EHS y de Batibus, para aumentar considerablemente la oferta de productos para el mercado unifamiliar y de oficina, de esta forma surge el estándar Konnex o KNX. (Huidobro & Millan, 2004).

La versión actual de KNX, maneja medios físicos para enviar y recibir los mensajes de los diferentes dispositivos por medio de tramas con par trenzado, ondas portadoras, ethernet y radiofrecuencia; además maneja tres modos de funcionamiento, orientado a diferentes niveles del usuario final descritos según Bouzas (2005) como:

- **System Mode**

Basado en EIB, en donde los dispositivos deben ser instalados por personal certificado, además de manejar aplicaciones previamente diseñadas para los propósitos domóticos o inmoticos.

- **Easy Mode**

En este modo, los dispositivos vienen pre programados de fábrica con funciones o tareas específicas, se manipulan ajustes por medio de interruptores dentro de los dispositivos.

- **Automatic Mode**

Modo apoyado con la tecnología *Plug&Play* en la que los usuarios no necesitan realizar ningún tipo de configuración, está pensado para ser utilizado en electrodomésticos, equipos de entretenimiento, climatización e iluminación en el caso de las oficinas.

Seguidamente, en la tabla 3, se resumen las características más representativas de cada uno de los protocolos expuestos anteriormente:

Tabla 3. Características de los protocolos inóticos

Tecnología	Soporte físico	Velocidad de transferencia	Alcance Máximo	Promotor
X 10	Red eléctrica	60 bps (Estados unidos) 50 bps(Europa)	Según longitud red	Pico Electronics
Lonworks	Todos	78 Kbps a 1.28 Mbps	1500 a 2700 metros	Echelon
Konnex	UTP, RF, Par trenzado	9600 bps	1000 metros	Comisión Europea
EHS	Red eléctrica, par trenzado	9600 bps	Según longitud del cable	Comisión Europea
EIB	Par trenzado, Infrarrojos, RF	9600 bps	1000 metros	Siemens

Cebús	Todos	7500 bps	Depende del medio	Asociación de industrias electrónicas norteamericanas
Batibus	Par trenzado	4800 bps	1500 metros	Merlín Gerin

## 2.9 TÉCNICAS DE CONTROL

Actualmente las técnicas de control, se clasifican como convencionales, y no convencionales o también denominadas inteligentes, las cuales tienen como objetivo dirigir o establecer un comportamiento de un sistema o proceso.

Entre las técnicas de control convencional se encuentran la técnica on- off, y la técnica PID junto con sus variaciones (proporcional, derivativo, integral, PID), y entre las técnicas de control inteligente se destacan el control neuronal, el control difuso, y las redes de Petri, entre otras.

### 2.9.1 Técnicas de control convencionales

#### 2.9.1.1 Control On- off

El control on-off o todo/nada, es la técnica más simple para ejercer una acción correctiva en un proceso, se caracteriza porque el elemento de actuación generalmente un relé, solo tiene dos posiciones fijas conmutando entre uno y otro. (Amastegui, 2001)

Para establecer su principio de funcionalidad Amastegui (2001) establece que la señal de salida del controlador es  $u(t)$ , y que la señal de error es  $e(t)$ , cuando empieza a actuar el controlador on-off, la señal  $u(t)$  permanece constante en un valor ya sea máximo o mínimo, dependiendo de si la señal de error es positiva o negativa, y cuando esta señal de error presente valores por fuera de un cierto intervalo se ejercerá las acciones de conmutación.

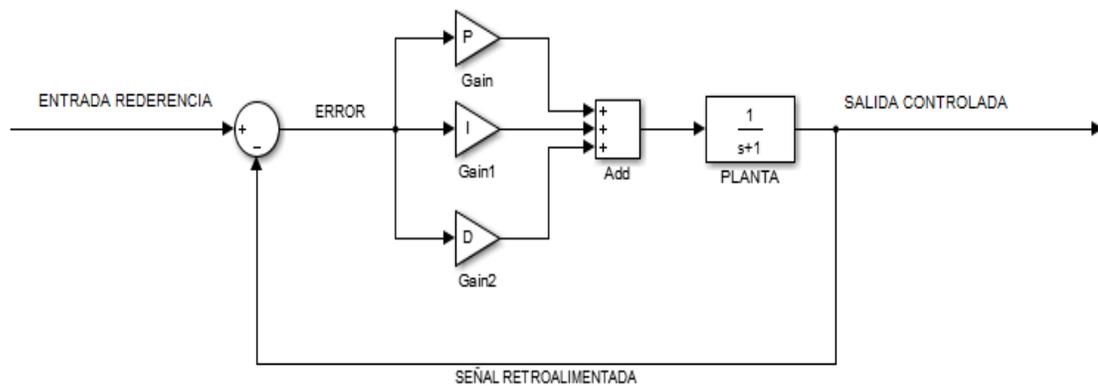
### **2.9.1.2 Control PID**

El controlador PID es una implementación simple del concepto de realimentación, donde la señal de control depende de la señal de error, así como de su comportamiento y de la variación de la señal. (Astrom & Hagglund, 2009)

El controlador PID está conformado por tres medidas o acciones, la acción proporcional se utiliza para tener en cuenta el error actual, en donde la señal de error se multiplica por una constante para ampliar su valor y así obtener un componente de la señal de error que actúe de forma proporcional, la acción integral tiene la capacidad de eliminar los errores en estado estacionario, por medio del cálculo de la tasa de error medidos en el pasado, y la acción derivativa permite prevenir errores futuros, por medio del cálculo de la primera derivada de la señal de error. (Astrom & Hagglund, 2009)

A continuación, se ilustra el modelo de un controlador PID:

Figura 6 . Diagrama de un controlador PID



Fuente: Elaboración propia

### 2.9.2 Técnicas de control no convencional

Al referirse al control inteligente Mendieta, Olarte y Gonzales (2012) establece que es una generalización del concepto de control, siendo una disciplina donde los métodos o técnicas se desarrollan para emular las características importantes del ser humano, las cuales incluyen parámetros de planeación frente a incertidumbre, manejo de una gran cantidad de datos, y aprendizaje.

Por su parte Santos (2011), define que el control inteligente permite el desarrollo de algoritmos, con capacidad de adaptabilidad a un amplio rango de operaciones, diseñado de forma que puede conseguir autónomamente un objetivo de alto nivel, con criterios de memoria, y confiabilidad, por medio de la mínima intervención de un usuario final.

Según Zi-Xing (1997), el control inteligente, depende del nivel de inteligencia en el sistema de control, y por lo tanto se comprende que el control automático debe usar e implementar técnicas de inteligencia artificial, o en algunos casos aplicar metodologías híbridas, para obtener sistemas que consideran múltiples variables,

adaptación a fallas, procesamiento de información, y toma de decisiones, sin interacción humana.

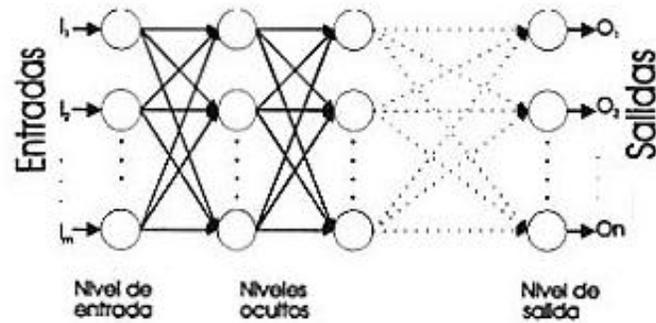
A continuación, se describen las técnicas de control no convencionales:

### **2.9.2.1 Redes Neuronales**

Las redes neuronales, son estructuras que pueden realizar tareas con cierta inteligencia, su funcionamiento se basa en procesos que realiza el ser humano, en este caso se fundamentan en la neurona biológica; los antecedentes de las redes neuronales datan del año 1936, donde el científico Alan Turing realiza estudios del cerebro en forma computacional. (Andrade, 2013)

Una red neuronal se encuentra generalmente compuesta por un conjunto estructurado de tres neuronas; las neuronas de entradas son aquellas que reciben señales del entorno, provenientes de otras partes del sistema o de sensores, posterior a ellas, se encuentran las neuronas ocultas, las cuales realizan el procesamiento de la información, y finalmente se tienen las neuronas de salida encargadas de emitir una respuesta final del sistema, en la figura 7 se aprecia la estructura general de una red neuronal. (Andrade, 2013)

Figura 7. Estructura de una red neuronal



Fuente: (Andrade, 2013)

### 2.9.2.2 Red de Petri

Las redes de Petri fueron introducidas en la literatura en la tesis doctoral de Carl Adam Petri, son una herramienta matemática y gráfica, que permiten la descripción formal de sistemas cuya dinámica se caracteriza por parámetros de concurrencia, sincronización, exclusión mutua y conflictos. (Cervantes, 2005)

Según (Refugio, 2003), se puede definir formalmente una red de Petri como un grafo orientado para el diseño y análisis de sistemas dinámicos de eventos discretos, en el cual intervienen cuatro tipos de componentes:

- Los lugares contienen un número nulo o positivo de marcas, dichas marcas representan una condición o estado del sistema, que deberá ser procesada.
- Las transiciones las cuales son unidas alternativamente por arcos, estos arcos involucran el número de marcas que una transición quita a un lugar de entrada o que agrega a un lugar de salida, siempre y cuando las transiciones se ejecuten.

Las redes de Petri, permiten obtener descripciones de los sistemas a modelar con un mínimo de información conocida y suficiente para sintetizarlos, además son ideales como metodología de modelado para capturar las diferentes relaciones causales y de precedencia entre eventos, estableciendo representación de evoluciones simultaneas, en el comportamiento del sistema. (Refugio, 2003)

En la figura 8, se ilustran las representaciones de los diferentes elementos de una red de Petri.

Figura 8. Elementos de una red de Petri



Fuente: Elaboración propia

### 2.9.2.3 Lógica Difusa

A continuación, se realiza la conceptualización para comprender la estructura de un sistema basado en lógica difusa, ya que esta técnica de control será la utilizada en este trabajo de investigación para el desarrollo del prototipo de red inteligente.

- **Conjuntos difusos**

El concepto de lógica difusa fue establecido por Lofti Zadeh en el año de 1966, quien inconforme con los conjuntos clásicos, los cuales solo permiten y plantean

dos estados, por medio de la pertenencia o no de un elemento respecto a un conjunto, la presento como una manera de procesar información por medio de pertenencias parciales a unos conjuntos que en contraposición a los clásicos llamo conjuntos difusos. (Martínez, 2010),

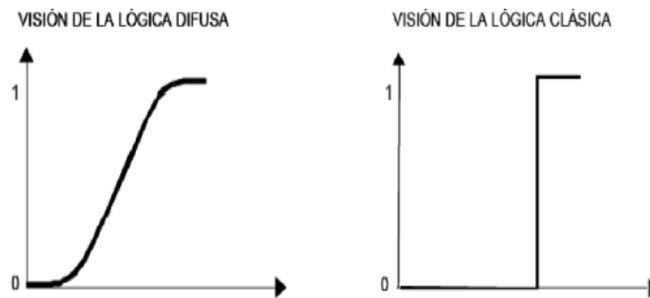
Como se mencionó anteriormente, los conjuntos difusos son una extensión de los conjuntos clásicos, y son el primer concepto para manejar la lógica difusa, a continuación, se realiza una descripción de ambos términos.

Según Ponce (2010), un conjunto clásico se define como una agrupación de elementos que existen en un universo, cada uno de los elementos del universo pertenece o no a un conjunto, por consiguiente, cada conjunto puede definirse de forma total por una función de pertenencia, la cual opera sobre los elementos del universo, asignando un valor de 1 si el elemento pertenece al conjunto y un valor de 0 si no pertenece, es decir sin situaciones intermedias.

Ahora bien, un conjunto difuso se define de forma similar, diferenciado conceptualmente en que un elemento puede pertenecer parcialmente a un conjunto entre los valores de 0 y 1 además un conjunto difuso que existe dentro de un universo, se define como todos aquellos elementos que pueden ser calificados mediante un grado de pertenencia, asociado a un determinado valor lingüístico, asimilándose a la forma de pensar del ser humano. (Ponce, 2010)

En la figura 9 se representa los tipos de conjuntos, definidos anteriormente:

Figura 9. Comparación de conjuntos



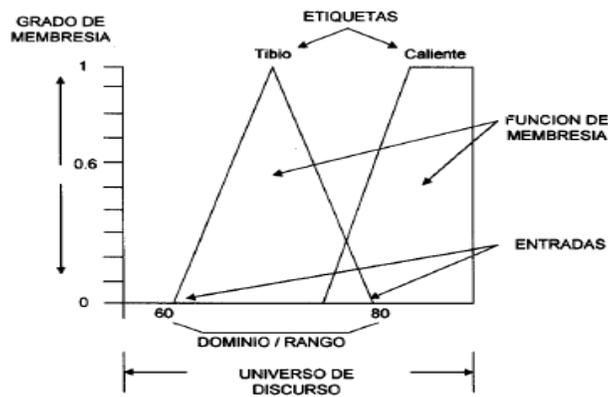
Fuente: (Ponce, 2010)

A continuación, se aclaran algunos términos que serán utilizados a lo largo del desarrollo del prototipo basado en lógica difusa, apoyados en Jiménez (2000), se tiene:

- Etiqueta: nombre descriptivo utilizado para identificar un conjunto difuso.
- Función de membresía: establece a un conjunto difuso mediante el mapeo de los valores de entradas de su dominio a grados de membresía.
- Grado de membresía: es el valor de verdad o entrada difusa
- Variable lingüística: es aquella variable que asocia el lenguaje natural con valores referentes al estado de un elemento, como, por ejemplo: mucho poco, positivo, negativo etc., representados por etiquetas.
- Universo de discurso: es el rango de todos los valores posibles aplicados a una variable lingüística.

En la figura 10, se aprecian gráficamente los términos descritos anteriormente:

Figura 10. Representación de términos



Fuente: (Jiménez, 2000)

- **Funciones de pertenencia**

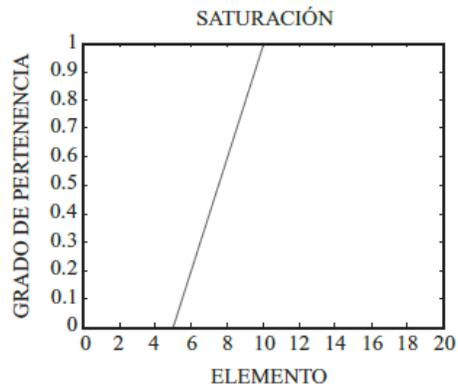
Las funciones de pertenencia son aquellas que representan el grado de pertenencia de un elemento definido por medio de una etiqueta; la forma de la función de pertenencia utilizada depende del criterio aplicado en la resolución del problema, en este caso sujeto al comportamiento de las variables de temperatura, humedad e iluminación. (Ponce, 2010)

Entre las funciones de pertenencia descritas por Ponce (2010), se tienen:

- **Función de saturación**

La función de saturación es la más sencilla, tiene un valor de 0 hasta cierto punto de los elementos, después crece con una pendiente positiva hasta alcanzar el valor de 1 donde se estaciona, en la figura se ilustra esta función:

Figura 11. Función Saturación

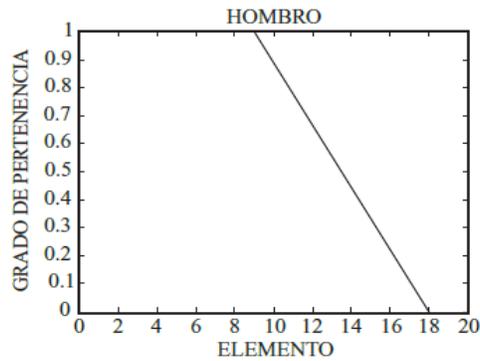


Fuente: (Ponce, 2010)

- **Función hombro**

La función hombro se considera como la contra parte de la función saturación, ya que inicia en un valor unitario y desciende después de haberse mantenido en un trascurso de los elementos, a el valor 0 de forma constante, en la figura se ilustra esta función:

Figura 12. Función hombro

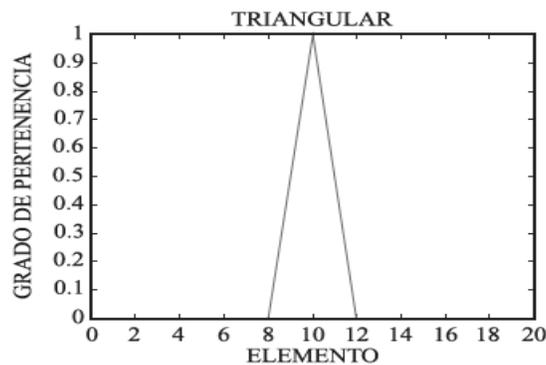


Fuente: (Ponce, 2010)

- **Función triangular**

Es la función de pertenencia más utilizada en problemas referentes al control de variables físicas; consta de una pendiente positiva de comportamiento constante, hasta alcanzar el valor unitario, y una vez logrado desciende por medio de una pendiente negativa de comportamiento constante, en la figura se ilustra esta función:

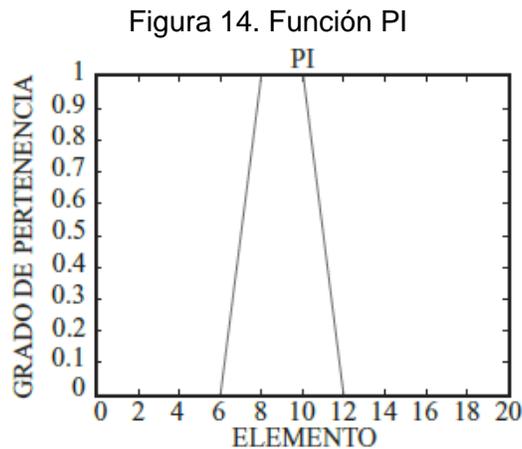
Figura 13. Función triangular



Fuente: (Ponce, 2010)

- **Función PI**

Es considerada una generalización de la función triangular, denominada también función trapecio, caracterizada por una pendiente positiva constante y una franja que se estabiliza en un valor dependiendo del fenómeno observado, finalmente desciende con una pendiente negativa constante, en la figura se ilustra esta función:

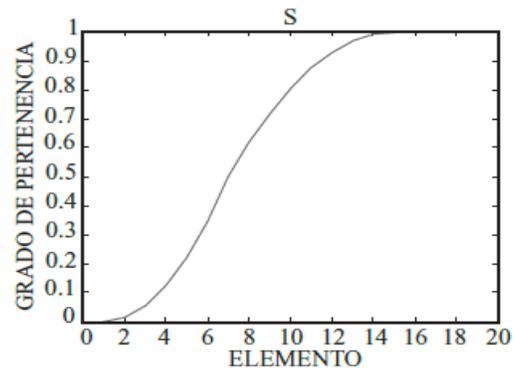


Fuente: (Ponce, 2010)

- **Función sigmoidea**

Finalmente, está la función sigmoidea o “S”, en la cual el segmento de subida es una curva de segundo orden, y que cambia de concavidad en un punto o elemento dado, y una vez se encuentra en el valor unitario se mantiene en dicho valor, en la figura se ilustra esta función:

Figura 15. Función sigmoidea

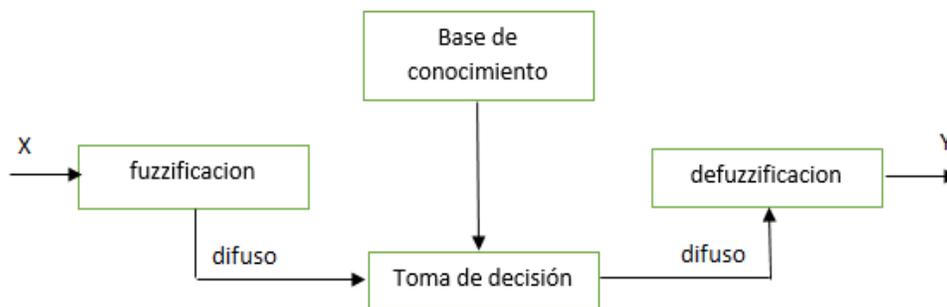


Fuente: (Ponce, 2010)

- **Estructura básica de un sistema difuso**

La estructura básica de un sistema difuso, contiene los siguientes bloques, ilustrados en la figura 16:

Figura 16. Estructura de un sistema difuso



Fuente: Elaboración propia

A continuación, se describe cada uno de los bloques que conforman un sistema difuso.

- **Fuzzificacion**

El bloque de fuzzificación se encarga de convertir un conjunto de variables de entrada de tipo numéricas, en conjuntos difusos con sus respectivas variables lingüísticas; en el caso por ejemplo que la entrada al sistema es una variable lingüística denominada temperatura de un espacio, esta se representa utilizando etiquetas como: baja, templada, alta o muy alta. (Jiménez, 2012) & (Jiménez, 2000)

- **Base de conocimiento**

La base de conocimiento se encuentra dividida en la base de datos y la base de reglas; la función básica de la base de datos es proveer la información necesaria para el funcionamiento adecuado del proceso de defuzzificación, en la cual se establecen las funciones de membresía más óptimas para describir las variables lingüísticas. (Jimenez, 2012)

Por su parte la base de reglas se establecen como un mapeo desde el dominio de entrada al dominio de salida, usualmente estas reglas son del tipo si-entonces, asociados mediante operaciones lógicas AND, OR etc. (Jimenez, 2012)

El conjunto de reglas determinan el comportamiento del controlador, en donde se emula el conocimiento para establecer una estrategia de control adecuada.

- **Defuzzificacion**

El bloque de defuzzificación, básicamente es la contraparte de la fuzzificación, consiste en transformar los valores que se encuentran en un universo difuso,

resultantes del proceso y la ejecución de la base de reglas, en un valor numérico que represente la acción de control a realizar. (Jimenez, 2012)

Para realizar el proceso de defuzzificación en la actualidad existen diferentes formas o métodos, entre los más comunes están: criterio máximo, peso y centro de área.

Según Ponce (2010) ; Lara (2011) , se tiene la descripción de dichos métodos:

- **Criterio máximo**

En casos donde la función de pertenencia que caracteriza las cantidades difusas, presenta su valor máximo o pico único, por consiguiente se toma el valor correspondiente al pico de la función para establecer el valor más representativo de la cantidad difusa.

- **Centro de área**

También denominado método del centroide, calcula el centro de gravedad del área limitada por la curva de la función de pertenencia para ser el valor de salida de la cantidad difusa.

- **Peso**

Esta técnica de defuzzificación, se considera válida solamente para el caso donde la función de pertenencia de salida es el resultado de la unión acumulada de funciones simétricas.

## 2.10 ADQUISICIÓN DE DATOS

La adquisición de datos es el proceso de medir un fenómeno eléctrico o físico por medio de un PC, la obtención del comportamiento de las variables de temperatura-humedad e iluminación se realizó por medio del controlador lógico programable S7-1200, detallado a continuación:

- **PLC S7-1200 de Siemens**

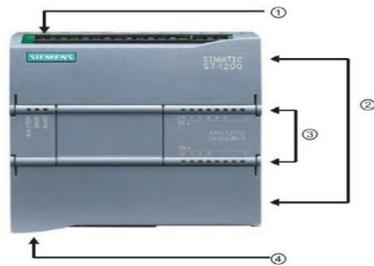
El controlador lógico programable S7-1200, permite controlar una gran variedad de dispositivos para diversas tareas de automatización, maneja de igual manera el software Step 7 Basic, el cual permite desarrollar, editar y visualizar la lógica del programa para ejercer cualquier tipo de aplicación, además permite configurar todos los dispositivos del proyecto, tales como PLC, dispositivos HMI, y configuración topológica de redes; el Step 7 Basic ofrece dos lenguajes de programación conocidos como KOP y FUP, la CPU S7-1200, cuenta con los siguientes elementos descritos en el Manual del sistema S7-1200 (2009):

- Fuente de alimentación
- Unidad central de procesamiento
- Módulo de interfaces de entradas/ salidas
- Módulo de memorias
- Unidad de programación

A continuación, en la figura 17, se aprecian las partes de la CPU Simatic S7-1200:



Figura 17. CPU Simatic S7-1200



Donde:

1. Conector de corriente
2. Ranura para memory card
3. Conectores extraíbles
4. Leds de estado
5. Conector Profinet.

Fuente: (Manual S7-1200, 2009)

En la tabla 4, se aprecian los datos técnicos del dispositivo descritos en el Manual del sistema S7-1200 (2009).

Tabla 4. Datos técnicos CPU Simatic S7-1200

<b>Alimentación</b>	
Voltaje de alimentación	120 V AC – 230 V AC
Paquete de programación	STEP 7
<b>Voltaje de carga L+</b>	
Valor nominal (Dc)	24 V
Rango admisible	5 V
Rango admisible	250 V
<b>Corriente de entrada</b>	
Consumo nominal	100 ma a 120 V, 50 ma a 240 V AC
<b>Memoria</b>	
Memoria datos de usuario	50Kb
Memoria de trabajo integrada	50 kb
Memoria de carga integrada	2 Mb
Entrada (Simatic memory card)	24 Mbyte
<b>Entradas digitales</b>	
Número de entradas	14; relé; integradas
<b>Salidas digitales</b>	
Número de salidas	10; relé; integradas
<b>Entradas analógicas</b>	
Canales integrados	2; 0 a 10 v
Comunicación	Profinet

Los PLC cuentan con dos entradas analógicas, las cuales permiten realizar la lectura de sensores, no obstante, requieren de los bloques de normalizar y escalar para su optima lectura relacionado a un valor real.

- **Normalizar**

Según el Manual S7-1200 (2009), al disponer de un valor perteneciente de una entrada analógica, se debe realizar el proceso de normalizar por regla general para que los valores numéricos coincidan y se relacionen con las magnitudes físicas de un proceso, en la plataforma Tía Portal V13, se encuentra bajo el bloque NORM\_X.

- **Escalar**

Según el Manual S7-1200 (2009), si se requiere que el valor leído en el proceso de normalización se encuentre dentro de un rango específico, que corresponde a los límites de fabricación del sensor, se debe escalar, en donde se realiza un mapeo en un determinado rango de valores, finalmente el resultado es un número entero que se deposita en la salida del bloque SCALE\_X.

## **2.11 EMPRESAS DE DOMÓTICA E INMÓTICA EN COLOMBIA**

Tanto la domótica como la inmótica en Colombia datan desde hace 20 años, situación generada por empresas del sector eléctrico, no obstante, las empresas dedicadas a este campo no son muy conocidas, por consiguiente, la información a cerca de ellas es limitada, sin embargo, a continuación, se citan las más renombradas:

- **HomeRobotik**

HomeRobotik, cuenta con varios servicios de ingeniería en campos como la robótica, la automatización y la seguridad electrónica, dentro de su portafolio se establece la división de domótica, en la cual presta servicios como: sistemas de calefacción, sistemas de video vigilancia, alarmas, iluminación y control de accesos. (HomeRobotik, 2016)

- **Smart BlueHome**

Empresa constituida hace cuatro años, generada desde el fondo emprender del SENA, la empresa se enfoca en la automatización de espacios unifamiliares por medio del uso del celular, su enfoque principal es el confort, apoyados en el protocolo Zigbee para sus instalaciones. (bluehome, 2016)

- **Indomo**

Es una empresa bogotana, especialista en áreas de seguridad, confort y gestión remota, aplicadas en hoteles, hogares y oficinas, actualmente ofrecen servicios de cerraduras biométricas, CCTV (circuito cerrado de televisión), alarmas y control de cargas. (Indomo, 2016)

- **Casa Inteligente**

Empresa con sede en envigado, casa inteligente integra tecnologías para el hogar y la industria, basan sus instalaciones en sistemas centralizados por medio de

estructuras cableadas, inalámbricas y UPB (cableado eléctrico como bus de datos). (casainteligente, 2016)

### **3. IDENTIFICACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE ELEMENTOS PRIMARIOS DEL EDIFICIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

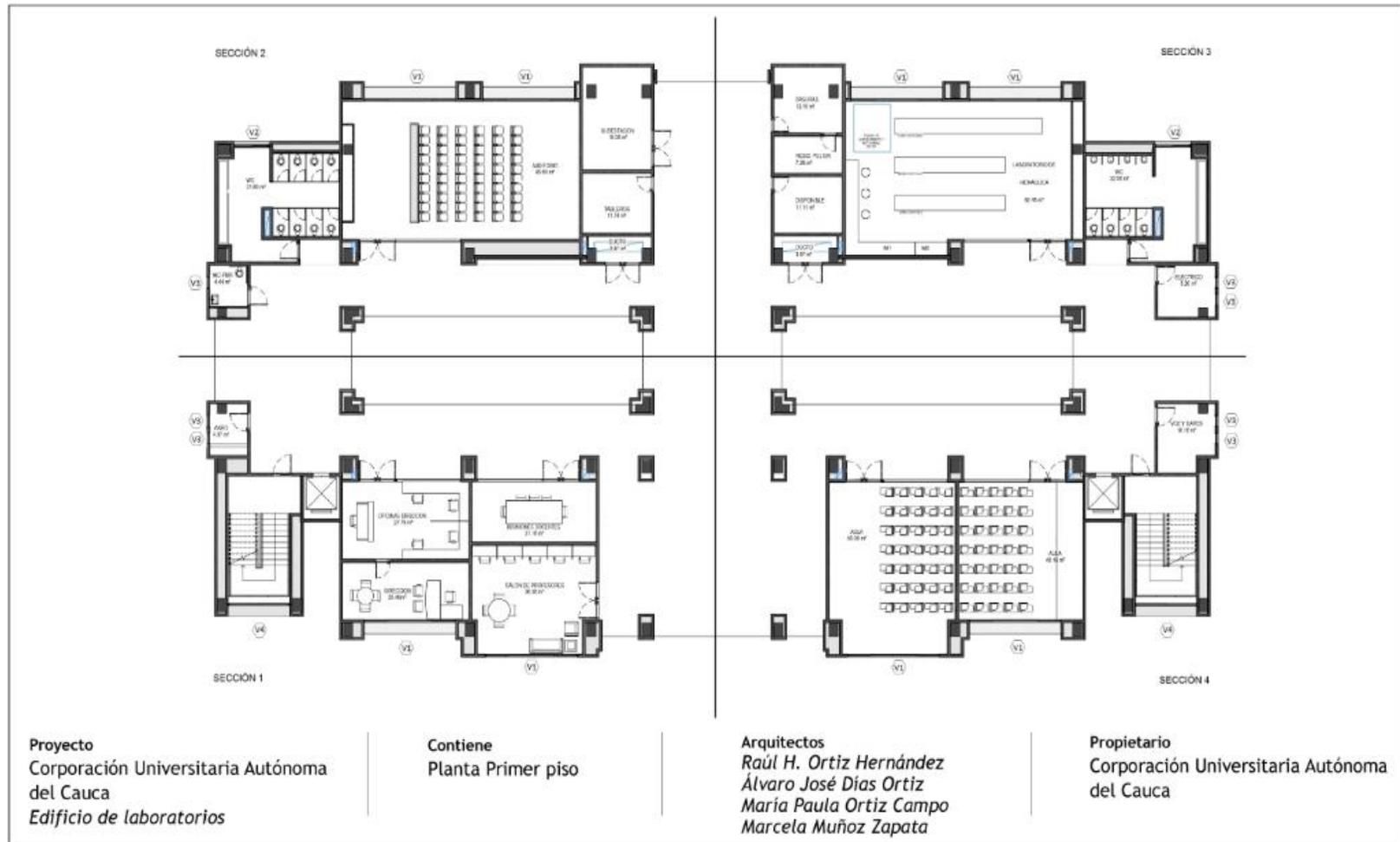
#### **3.1 DESCRIPCIÓN DE ESPACIOS Y AMBIENTES DEL EDIFICIO**

En este apartado, se realiza la descripción de espacios y ambientes de cada uno de los pisos proyectados sobre planos de la edificación. Los planos se obtuvieron por medio del director de laboratorios de la institución, estos planos fueron modificados para obtener una visualización óptima de los diferentes espacios académicos y administrativos, adicionalmente se consideró la división por secciones de cada piso, para realizar de manera más eficiente la distribución de elementos primarios del edificio de ciencia y tecnología de la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, sede “El Aljibe”.

- **Primer piso**

En el primer piso se desarrollan actividades administrativas y académicas, y cuenta con los siguientes ambientes, visualizados en la figura 18.

Figura 18. Plano primer piso



Fuente: Director de laboratorios

En primera instancia se tiene el área administrativa la cual cuenta con cuatro espacios detallados a continuación:

Dirección, espacio con un área de  $20.4 \text{ m}^2$ , con entrada por el corredor principal del primer piso, comunicada con las oficinas de dirección, con capacidad máxima de siete personas.

Oficinas de dirección, con un área de  $27.75 \text{ m}^2$ , con cubículos de trabajo para cuatro personas.

Salón de profesores, con un área de  $36.36 \text{ m}^2$ , cubículos individuales y distribución de mesas con capacidad de cuatro puestos.

Sala de reuniones para docentes, con un área de  $21.16 \text{ m}^2$ , continuo a las oficinas de dirección.

Luego se encuentra el auditorio; este espacio cuenta con un área total de  $89.6 \text{ m}^2$  con capacidad de sesenta usuarios.

Posteriormente se encuentra el laboratorio de hidráulica, este laboratorio consta de diferentes elementos de uso académico como medidores de flujo, equipos de vertedero, canales ajustables y un espacio destinado para el tanque de almacenamiento y motobomba, además de una distribución de dos mesas con capacidad de tres estudiantes por cada una de ellas, cuenta con un área total de  $92.48 \text{ m}^2$ .

Por su parte las aulas de clases, se encuentran constituidas por dos espacios conjuntos, la primera de ellas tiene un área de  $59.36 \text{ m}^2$ , con capacidad máxima de treinta cinco estudiantes, la segunda tiene un área de  $48.16 \text{ m}^2$ , y la misma capacidad estudiantil.

En el primer piso además cuenta con dos zonas de baños, uno para mujeres ubicada junto al auditorio con un total de  $21.8 \text{ m}^2$  y otro para hombres ubicado junto al laboratorio de hidráulica, con un total de  $32.06 \text{ m}^2$ .

De igual manera esta zona tiene un área de  $4.44 \text{ m}^2$  que corresponde a un baño para discapacitados.

Es de notar que esta misma distribución de baños se encuentran para los pisos dos, tres y cuatro; esta planta cuenta además con zonas de usos generales como escaleras, cuartos de aseo, ductos, basuras, residuos peligrosos, electricidad, voz y datos y cuarto para subestación.

- **Segundo piso**

En el segundo piso se desarrollan actividades académicas, y cuentan con los siguientes ambientes:

Laboratorio de redes, con acceso principal por el corredor de la segunda planta, contiene catorce mesas con capacidad de dos estudiantes por cada una de ellas, con un área de  $113.27 \text{ m}^2$ .

Laboratorio para cartografía y dibujo, espacio continuo a uno de los baños, cuenta con un área de  $124.78 \text{ m}^2$ , quince mesas, con capacidad de dos estudiantes por cada una de ellas.

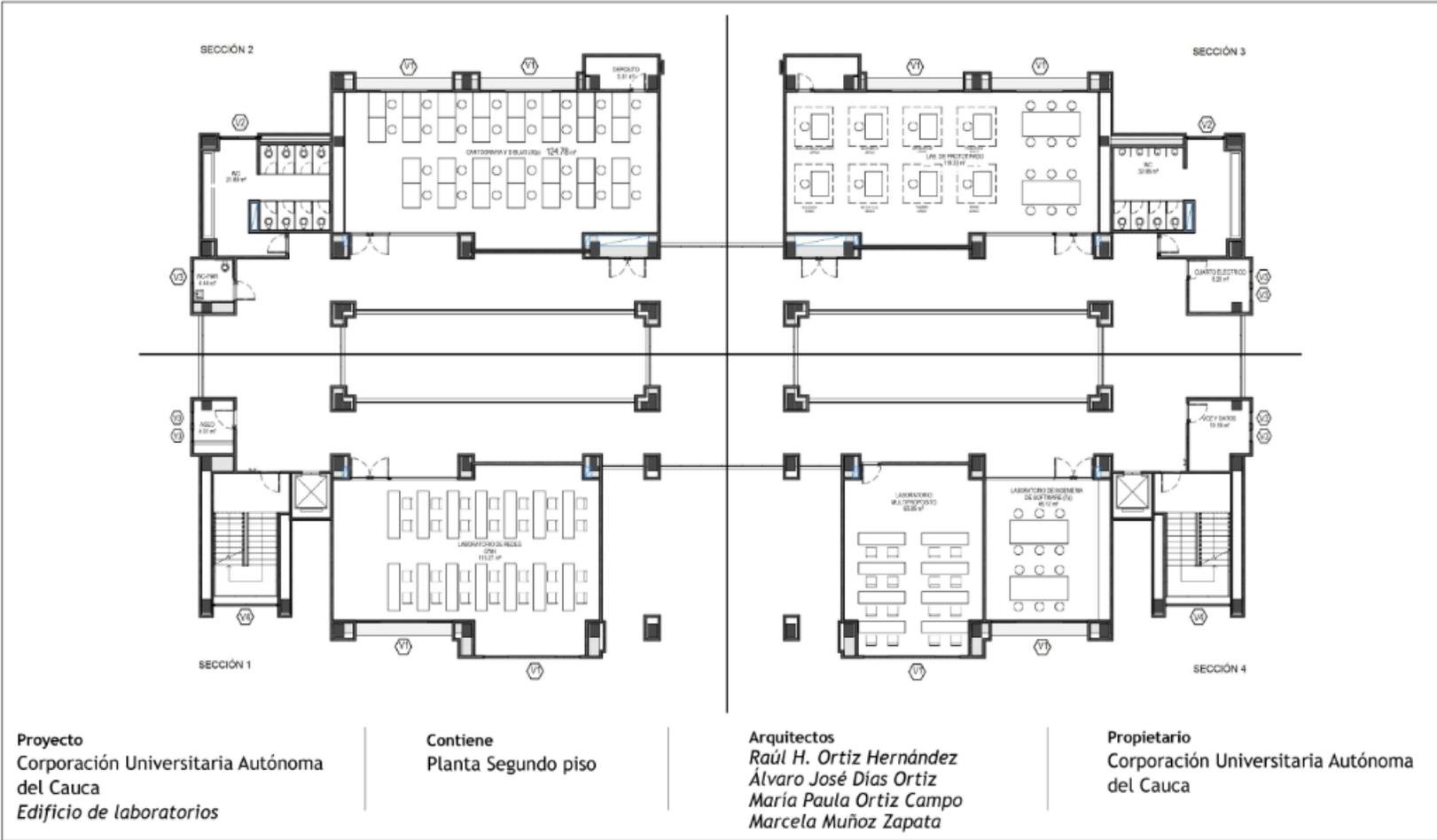
Laboratorio de prototipo, contiene dos mesas con capacidad de seis estudiantes, además de contar con mesas de trabajo independientes como: dibujo laminada, scanner 3D, impresora 3D, Pick and Place, roladora, motortool, taladro y torno, y un área de  $119.33 \text{ m}^2$ .

Laboratorio multipropósito, con un área de  $65.95 \text{ m}^2$ , y capacidad máxima de dieciséis estudiantes.

Laboratorio de ingeniería de software, con un área de  $46.17 \text{ m}^2$ , cuenta con dos mesas con capacidad de seis estudiantes cada una, y una mesa lateral para demás propósitos.

Esta planta cuenta con zonas de uso general como cuartos de aseo, cuarto eléctrico, cuartos de depósito y cuarto de voz y datos.

Figura 19. Plano segundo piso



Fuente: Director de laboratorios

- **Tercer piso**

En el tercer piso se desarrollan actividades académicas y cuenta con los siguientes ambientes:

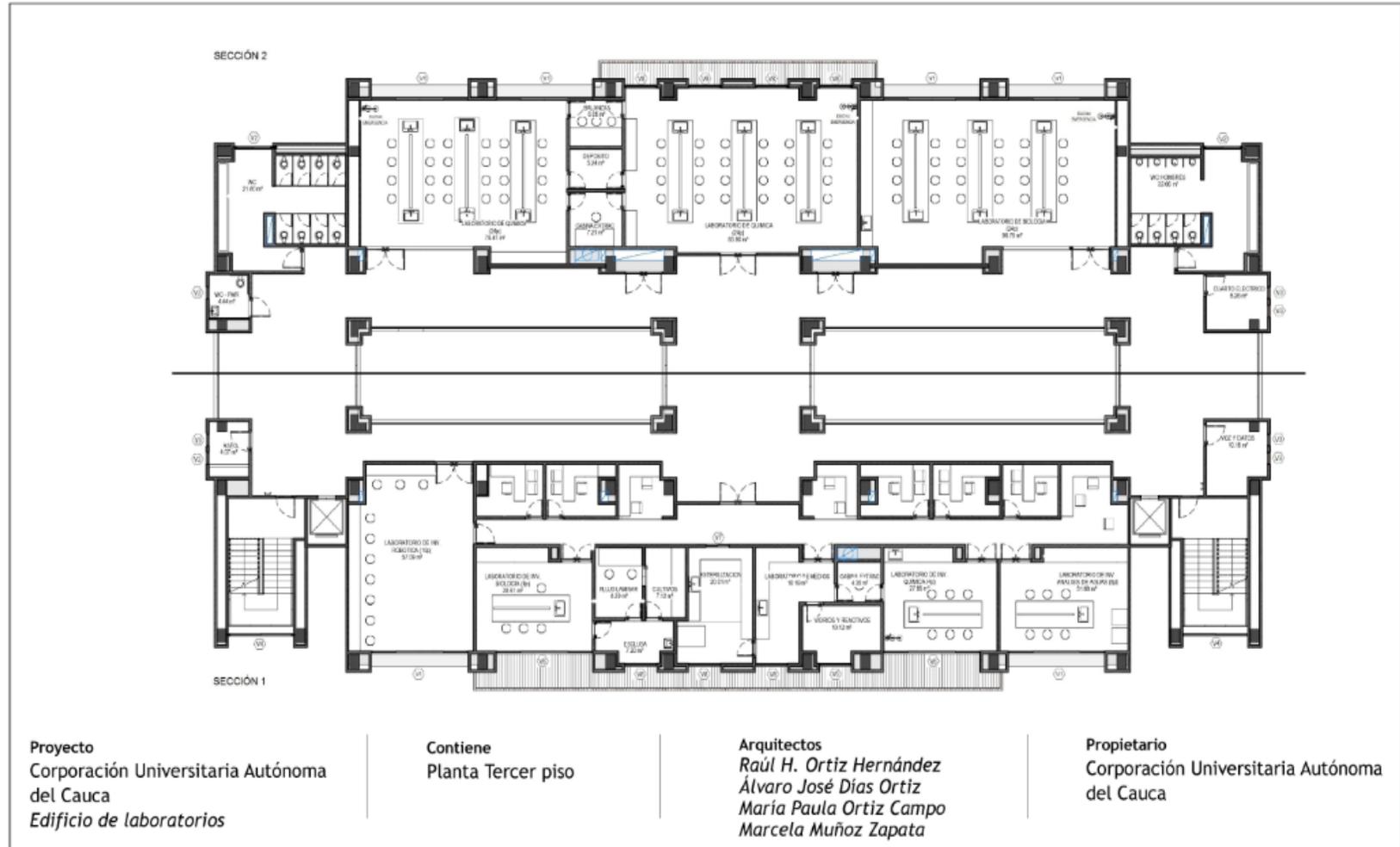
Dos laboratorios de química separados por los cuartos de balanzas, depósito y cabina de extracción, el primero de ellos cuenta con un área de  $79.41 \text{ m}^2$ , ducha de emergencia y distribución de tres mesas con capacidad de ocho estudiantes por mesa, el segundo cuenta con un área de  $93.9 \text{ m}^2$ , ducha de emergencia e igual distribución de mesas que el laboratorio descrito anteriormente.

Laboratorio de biología, ubicado entre el baño de hombres y el segundo laboratorio de química, con un área de  $98.79 \text{ m}^2$ , ducha de emergencia y distribución de tres mesas con capacidad máxima de ocho estudiantes por cada una de ellas.

Laboratorio de investigación en robótica, este espacio tiene una capacidad máxima de diez estudiantes, con distribución en forma de L para dos mesas, y cuenta con un área de  $57.9 \text{ m}^2$ .

A mitad del pasillo se encuentra una puerta con acceso a espacios destinados a procesos de investigación, distribuidas en laboratorios de medios con un área de  $16.19 \text{ m}^2$ , laboratorio de química con un área de  $27.95 \text{ m}^2$  y capacidad máxima de cuatro estudiantes, laboratorio de biología con un área de  $28.61 \text{ m}^2$  y capacidad de seis estudiantes, y un laboratorio de análisis de aguas con un área de  $31.68 \text{ m}^2$  con capacidad de seis estudiantes; además de contar con una distribución continua para realizar procesos de esterilización, cultivos, esclusa y flujo laminar.

Figura 20. Plano tercer piso



Fuente: Director de laboratorios

- **Cuarto piso**

En el cuarto piso se desarrollan actividades académicas, y cuentan con los siguientes ambientes:

Esta planta contiene los laboratorios de software para aplicaciones industriales, con capacidad máxima de veintiún estudiantes y un área de  $103\text{ m}^2$ .

Laboratorio de control de procesos, este espacio cuenta con dos mesas en forma de L, para uso de estudiantes, maneja las plantas de presión, nivel, temperatura, y bombas centrifugas, además de contener un cuarto para compresores y depósito de instrumentación, tiene un área de  $81.1\text{ m}^2$ .

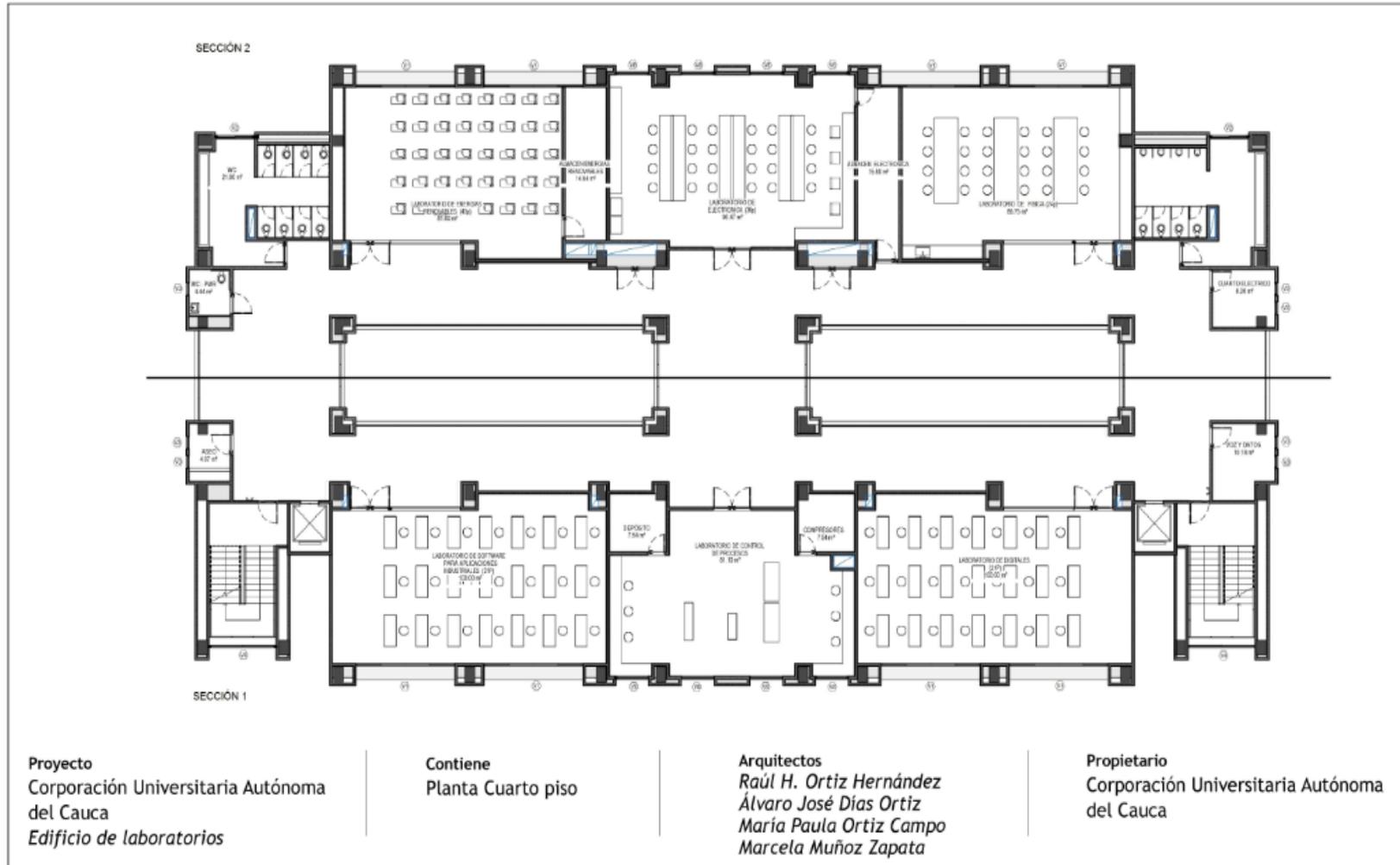
Laboratorio de digitales, continuo al laboratorio de control de procesos, dispone de una capacidad máxima de veintiún estudiantes, y un área de  $103\text{ m}^2$ .

Laboratorio de energías renovables, este espacio cuenta con una capacidad máxima de cuarenta estudiantes, además de manejar dentro del mismo el almacén destinado para dicho laboratorio, cuenta con un área de  $81.8\text{ m}^2$ .

Laboratorio de electrónica, al igual que el laboratorio de energías renovables cuenta con un almacén a disposición del mismo, contiene tres mesas con capacidad lateral de ocho estudiantes por mesa, y seis cubículos individuales, tiene un área de  $96.47\text{ m}^2$ .

Laboratorio de física, tiene un área de  $85.75\text{ m}^2$ , distribución de tres mesas con capacidad máxima de veinticuatro estudiantes.

Figura 21. Plano cuarto piso

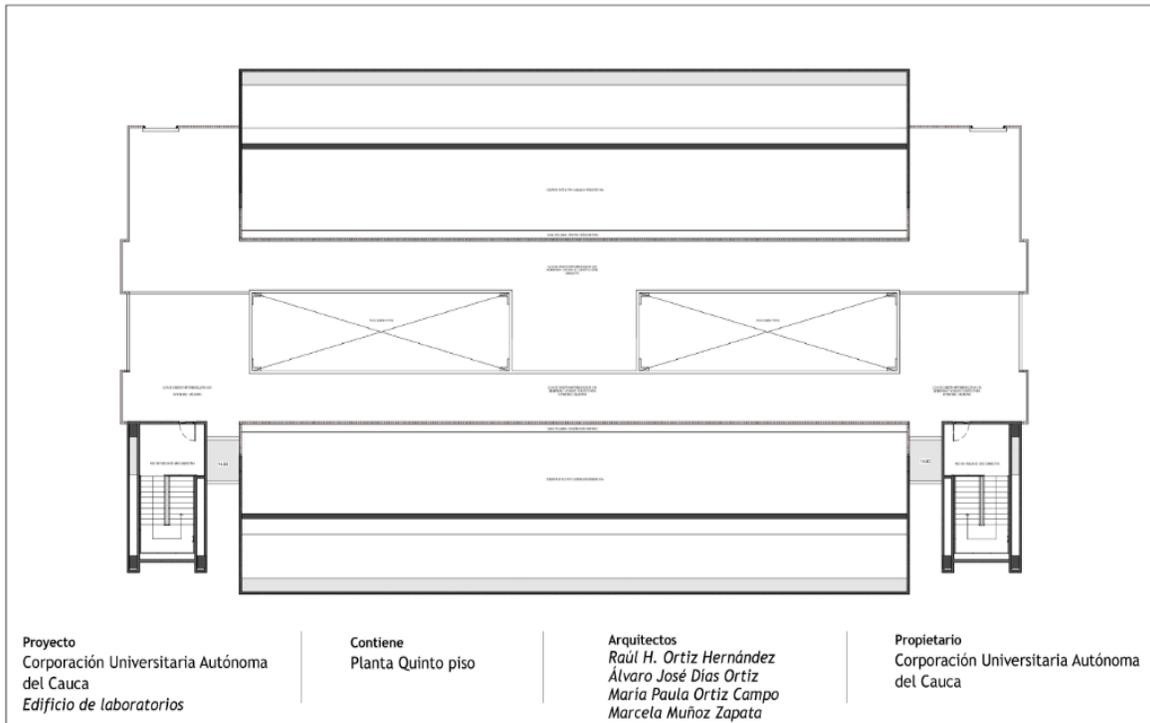


Fuente: Director de laboratorios

- **Quinto piso**

En esta planta, se encuentran una terraza, a la cual se puede acceder por medio de dos escaleras laterales, se encuentra cubierta por un diseño en teja.

Figura 22. Plano quinto piso



Fuente: Director de laboratorios

### 3.2 IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE VARIABLES FÍSICAS

Como se pudo apreciar, el edificio de ciencia y tecnología de la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, sede “El Aljibe”, consta de varios ambientes, los cuales han sido planificados especialmente para brindar procesos de investigación, desarrollo de prácticas, clases y gestiones administrativas.

En esta sección, se ha procedido a identificar y caracterizar las diferentes variables físicas que hacen parte del edificio, consideradas por los autores, así como los elementos primarios que permiten la medición de las mismas, finalmente se realiza la descripción funcional dentro de la construcción, descritos en la tabla 5.

Tabla 5. Variables y sensores para el diseño inmótico

<b>Variable a Medir</b>	<b>Elemento Primario</b>	<b>Aplicación Funcional</b>
Gases	Sensor de gas	Medición de gas natural, butano, propano, evitando la propagación de fugas, o intoxicaciones de los usuarios en la edificación.
Gases	Sensor de CO2	Medición de dióxido de carbono, al encontrarse en grandes concentraciones afecta considerablemente la salud.
Gases	Humo	Medición de humo, generado por fallas en dispositivos o procesos químicos dentro de la edificación
Temperatura	Sensor de temperatura	Medición de temperatura en espacios interiores de la edificación, para establecer por medio de acciones confort en cada lugar que se requiera.
Temperatura	Sensor de Incendios	Medición de cambios bruscos de temperatura, proceso presente en el inicio de un incendio.
Iluminación	Sensor de Iluminación	Medición de fuentes de luz natural o artificial, en espacios interiores o exteriores de la edificación.
Agua	Sensor de inundación	Medición de agua estancada en el suelo, esencial para prevenir fugas en baños, o lugares que contengan depósitos
Humedad	Sensor de Humedad	Medición de humedad, esencial para establecer condiciones óptimas de almacenamiento de equipos, comodidad térmica y calidad del aire.
Viento	Anemómetros	Medición de la velocidad del viento.
Presencia	Sensor Volumétrico	Medición con respecto a cambios de movimientos dentro de un espacio, son esenciales para evitar intrusión dentro de horarios o zonas no permitidas.
Presencia	Sensor Magnético	Medición de apertura o cierre de ventanas o puertas, detección de intrusismo.
Vibraciones	Sensor ruptura cristal	Medición de vibraciones a altas frecuencias, protección de ventanas o puertas acristaladas

### 3.3 DISTRIBUCIÓN DE ELEMENTOS PRIMARIOS SOBRE PLANOS

A continuación, se presenta la distribución de elementos primarios, sobre los cinco pisos de la edificación, realizada por secciones en cada uno de los ambientes descritos anteriormente, para esta distribución se utiliza la nomenclatura propuesta por los autores, detallada en la tabla 6, de igual manera por medio de la literatura se plantean recomendaciones de algunos sensores al momento de ser instalados dentro de un espacio.

Tabla 6. Nomenclatura de elementos primarios

<b>Convenciones</b>	
	Sensor de Temperatura
	Sensor de Humedad
	Sensor de Gas
	Sensor de Monóxido de carbono
	Sensor de Incendios
	Sensor de Inundación
	Sensor de Iluminación
	Sensor Volumétrico
	Sensor Ruptura de Cristales
	Sensor Magnético para Puertas
	Anemómetro
	Ventana

#### 3.3.1 Recomendaciones para la instalación y optima medición de elementos primarios del sistema inmótico

La instalación adecuada de los elementos primarios de un sistema inmótico, permitirá que dichos dispositivos puedan medir las variables del entorno de una manera eficiente, arrojando así, datos más confiables acerca del comportamiento

del recinto o lugar y de esta manera poder caracterizar el comportamiento de los diferentes fenómenos presentes.

Actualmente no existe una normatividad en Colombia y América Latina donde se establezca cuáles son las recomendaciones para la instalación de sensores en edificaciones que cuentan con un sistema inmótico, no obstante, existen algunas recomendaciones realizadas por organizaciones europeas acerca de la instalación de algunos elementos primarios que se detallan a continuación, según Institut Ildelfons Cerdà (2001)

- **Sensores de temperatura**

El sensor de temperatura deberá instalarse lejos de fuentes de calor como aparatos electrónicos o instrumentos que puedan alterar la medida correcta de la temperatura, además de ventanas y puertas por las que pueden entrar corrientes de aire que también provocarían mediciones erróneas.

Debe ser instalado en posición vertical a 1.5 metros del suelo, sin incidencia directa del sol y sin obstrucciones por algún elemento decorativo.

- **Sensores de gas**

El detector de gas deberá ser instalado en posición vertical a no más de 1,5 metros de las fuentes de suministro, lejos de elementos que obstruyan su medición y de ventanas que pueden alterar su correcta lectura, así como también alejado de lugares húmedos y con temperaturas extremas. Estos detectores deben estar en lugares donde no haya impurezas como polvo o grasas que condicionen su medición, en este caso este sensor se encuentra sujeto a cambios.

- **Sensores de incendios**

Los detectores de incendios ópticos deberán instalarse en cualquier lugar del predio, exceptuando cocinas en las que puede haber posibles cantidades de humos normales a las actividades de estos lugares, generando así falsas alarmas.

Estos detectores deberán ser instalados sobre el techo y a más de 50 centímetros de la pared, lejos de cualquier obstáculo como columnas o ventanas.

En el posible caso de contar con una altura de más de 6 metros, no es recomendable instalar estos detectores sobre el techo, sino en posición vertical, sobre una pared y en este caso será mejor recurrir a detectores de barrera óptica. Estos sensores poseen generalmente un alcance de 30  $m^2$

- **Sensor de inundación**

Este sensor deberá instalarse cerca del suelo en lugares donde haya fregaderos como baños o cocinas y alejado de lugares que puedan activar falsas alarmas. Deberá colocarse en lugares donde no obstruya las actividades cotidianas de trabajo y donde sea posible un fácil mantenimiento del mismo.

- **Sensor Volumétrico**

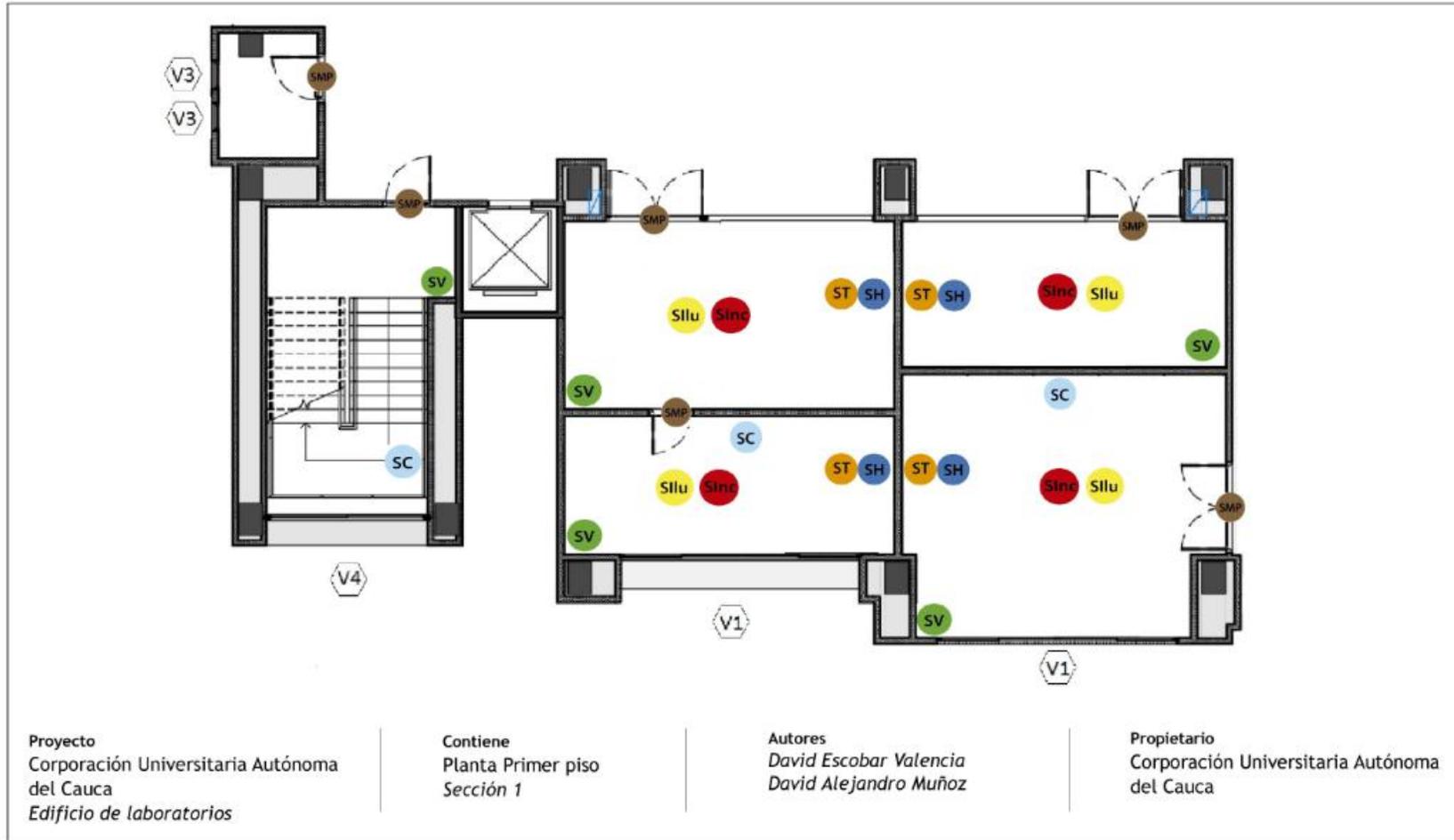
Este sensor deberá ubicarse en las esquinas, en una zona superior generalmente a 2 metros de altura, garantizando de esta forma un ángulo mayor de cobertura, alejado de fuentes de calor que ocasionen mediciones erróneas.

- **Sensor magnético para puertas**

Para el caso de este detector, se deberá poner sobre el marco de la puerta la parte cableada y la parte imantada en la puerta, estas partes deben ser instaladas en la parte opuesta a las bisagras, garantizando de esta manera que, con una apertura mínima de la puerta, este se active.

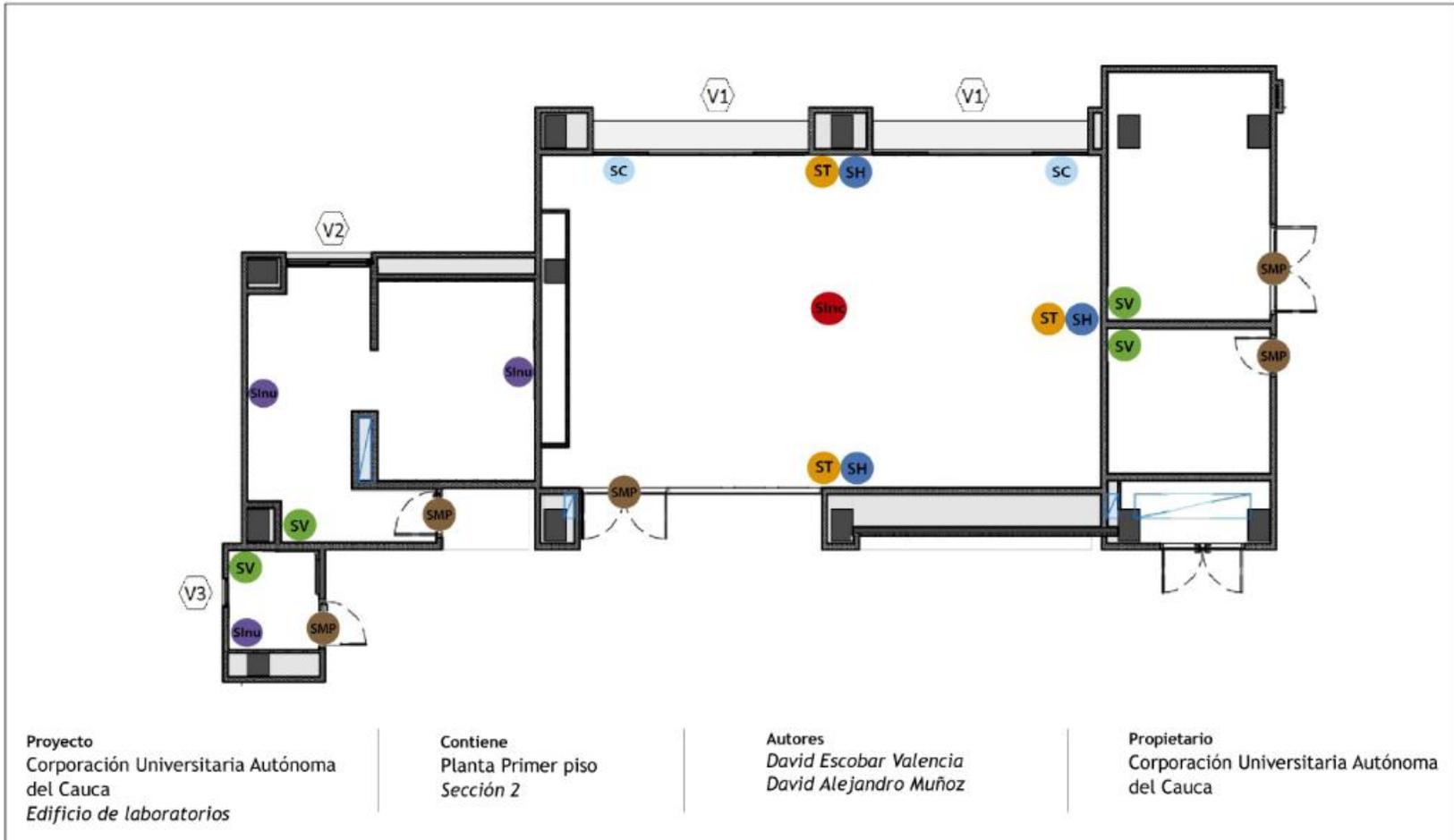
A continuación, se realiza la distribución de elementos primarios, considerando cada sección de un piso.

Figura 23. Plano primer piso, Sección 1



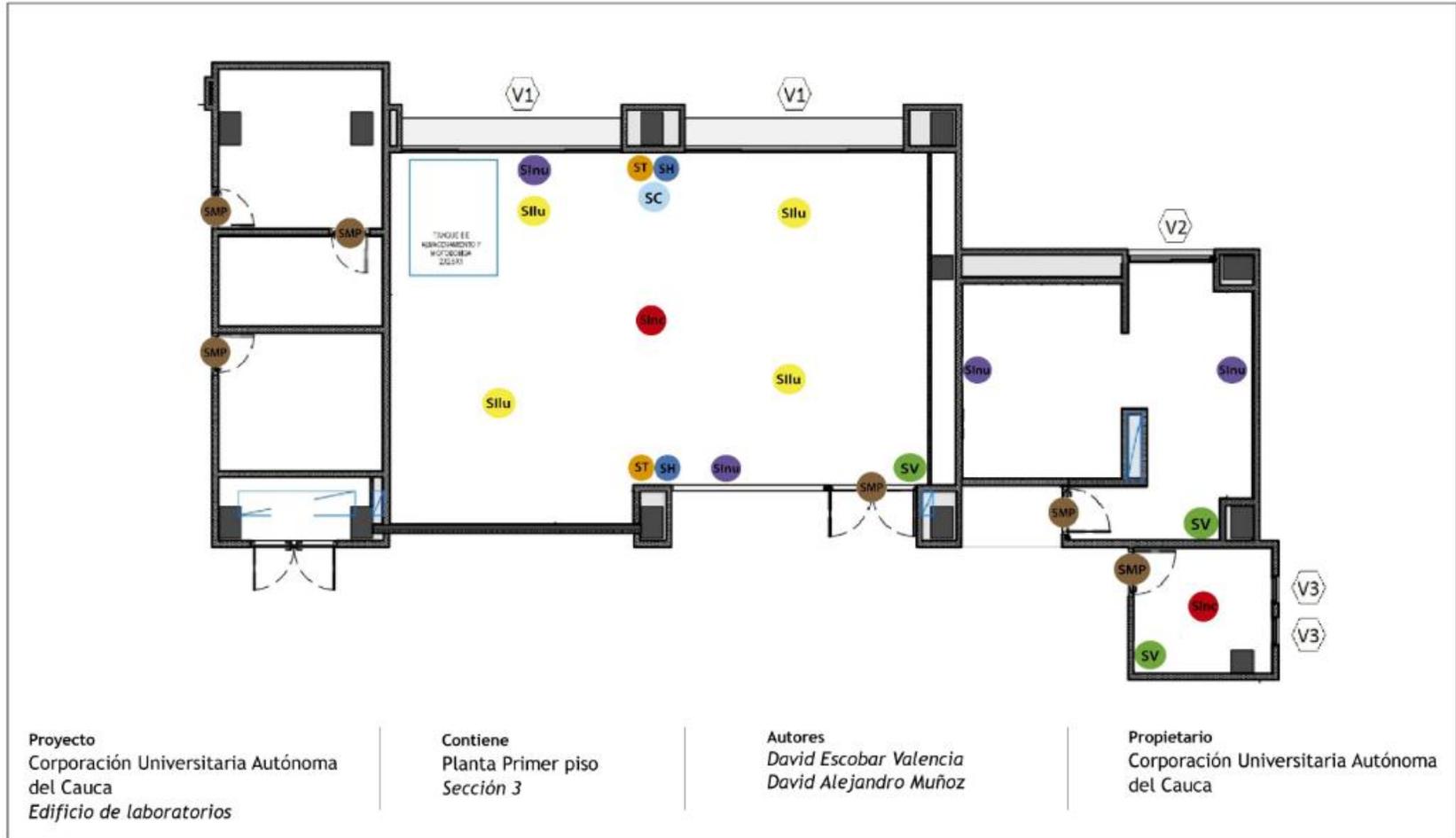
Fuente: Elaboración propia

Figura 24. Plano primer piso, Sección 2



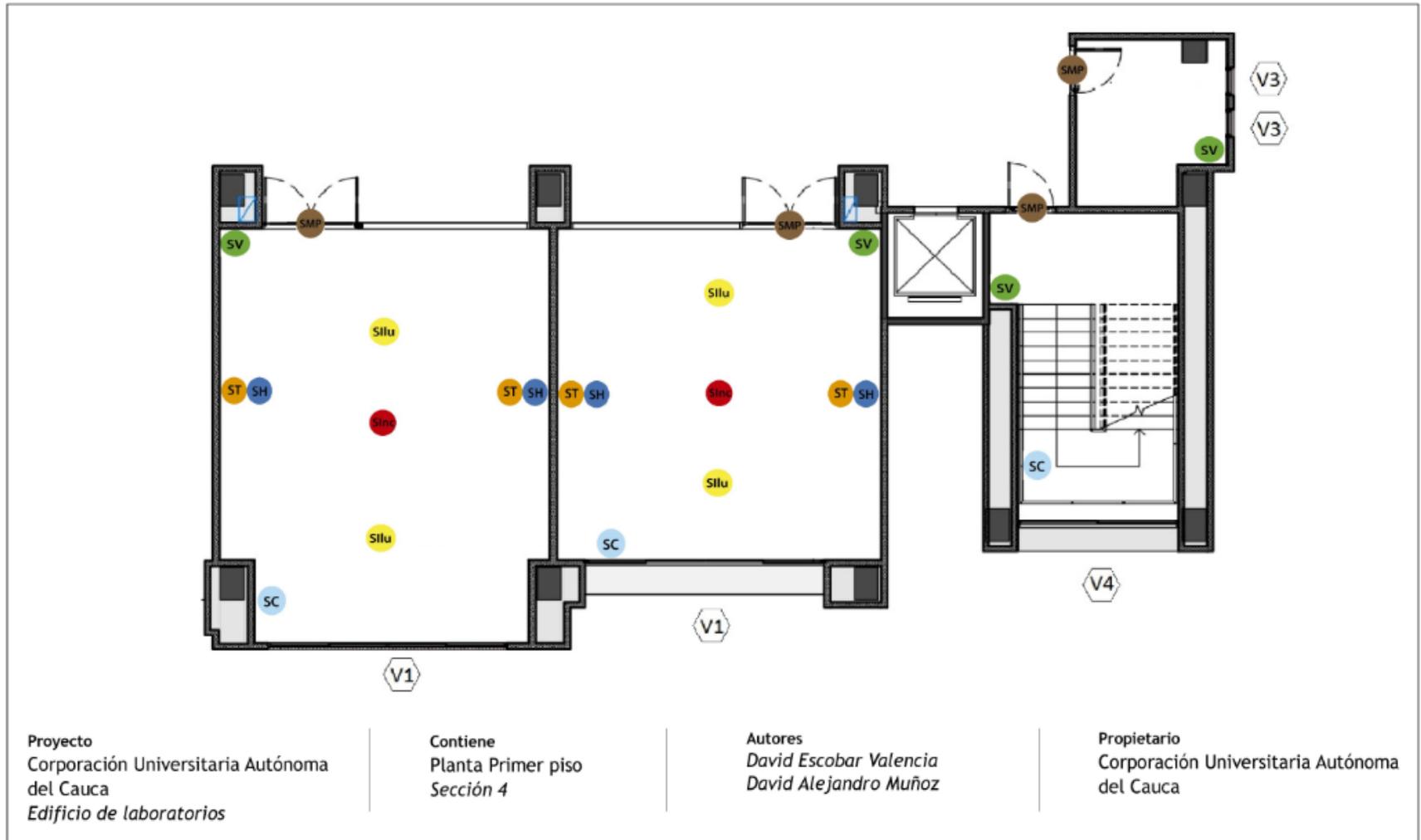
Fuente: Elaboración propia

Figura 25. Plano primer piso, Sección 3



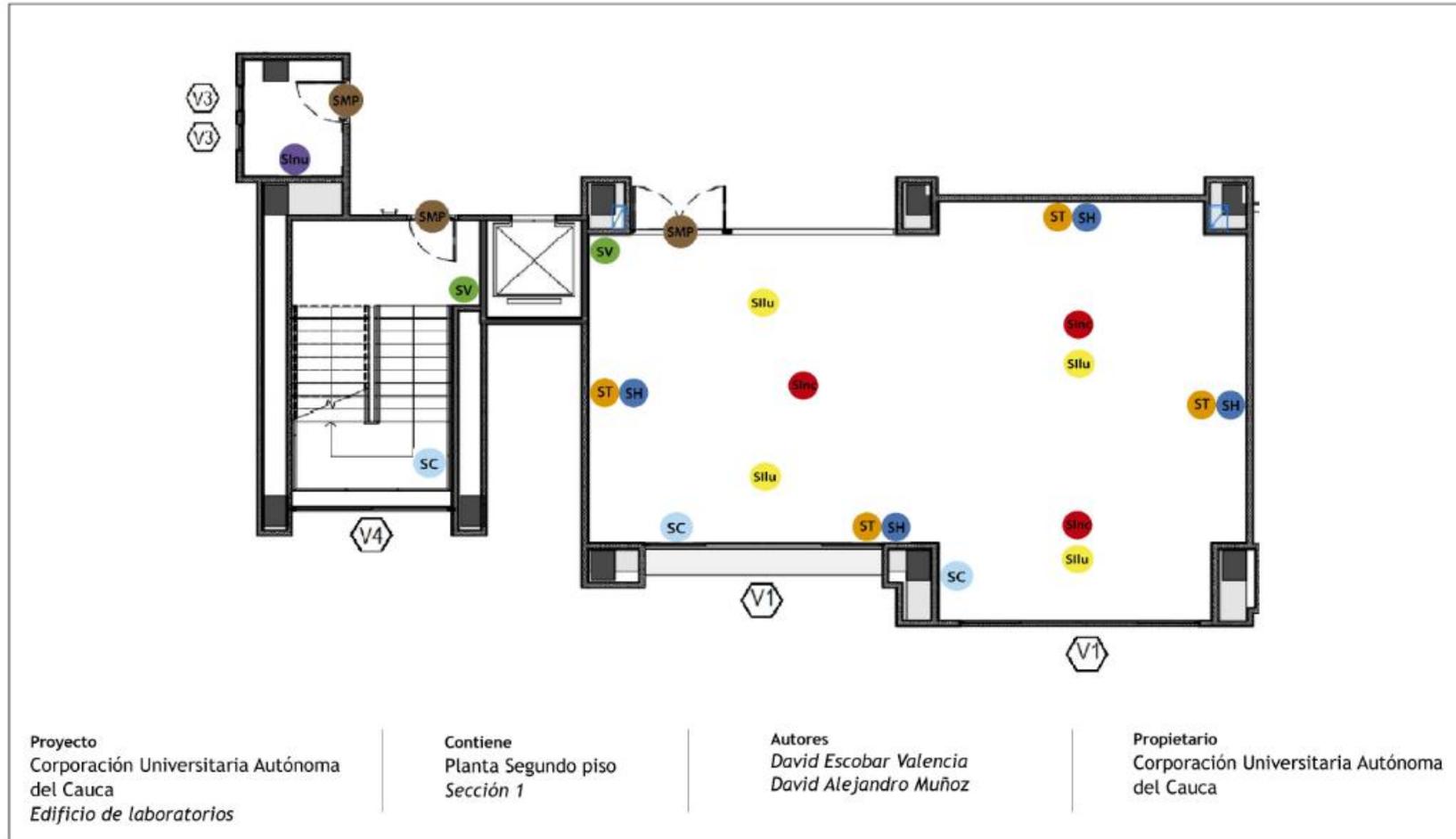
Fuente: Elaboración propia

Figura 26. Plano primer piso, Sección 4



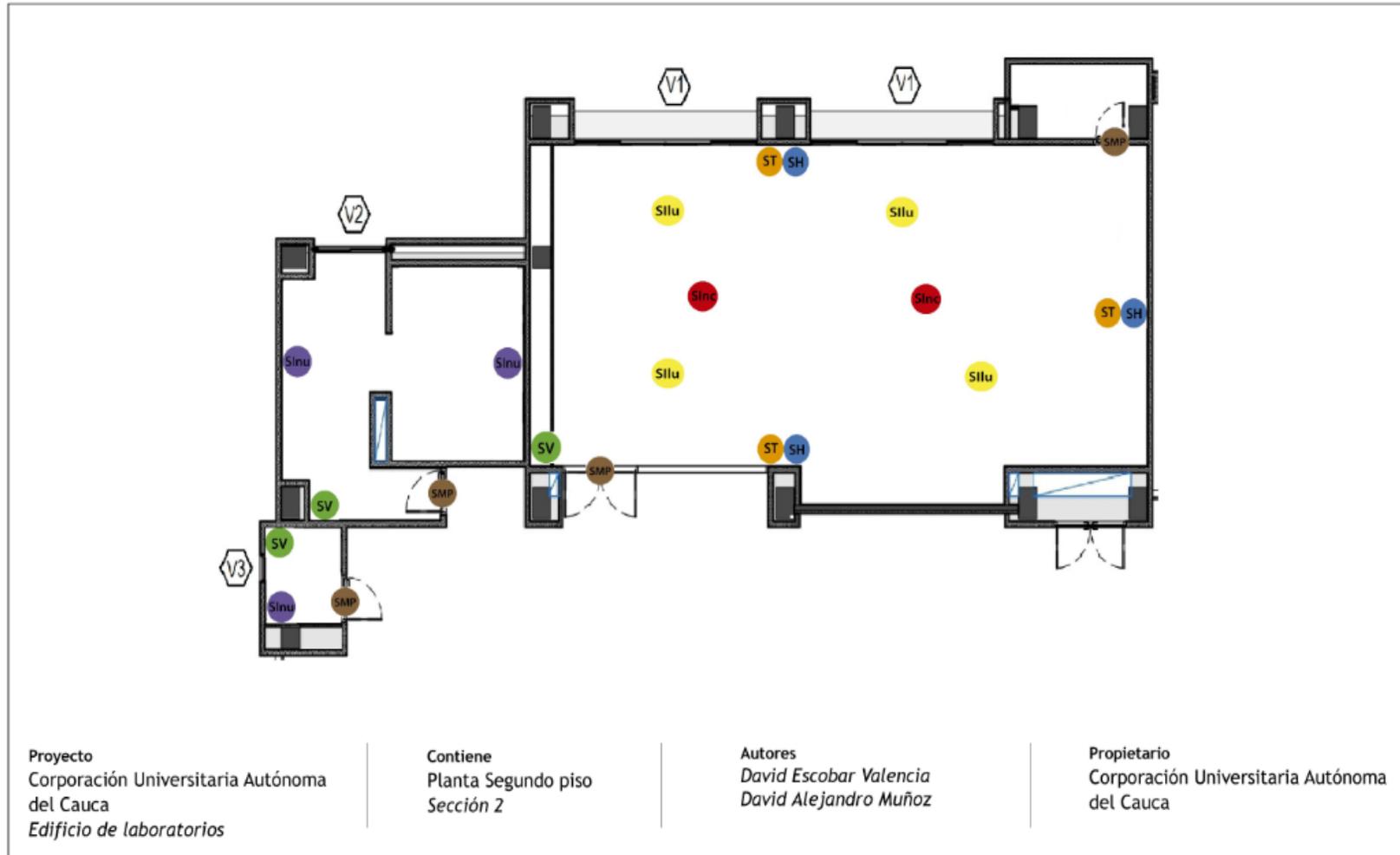
Fuente: Elaboración propia

Figura 27. Plano segundo piso, Sección 1



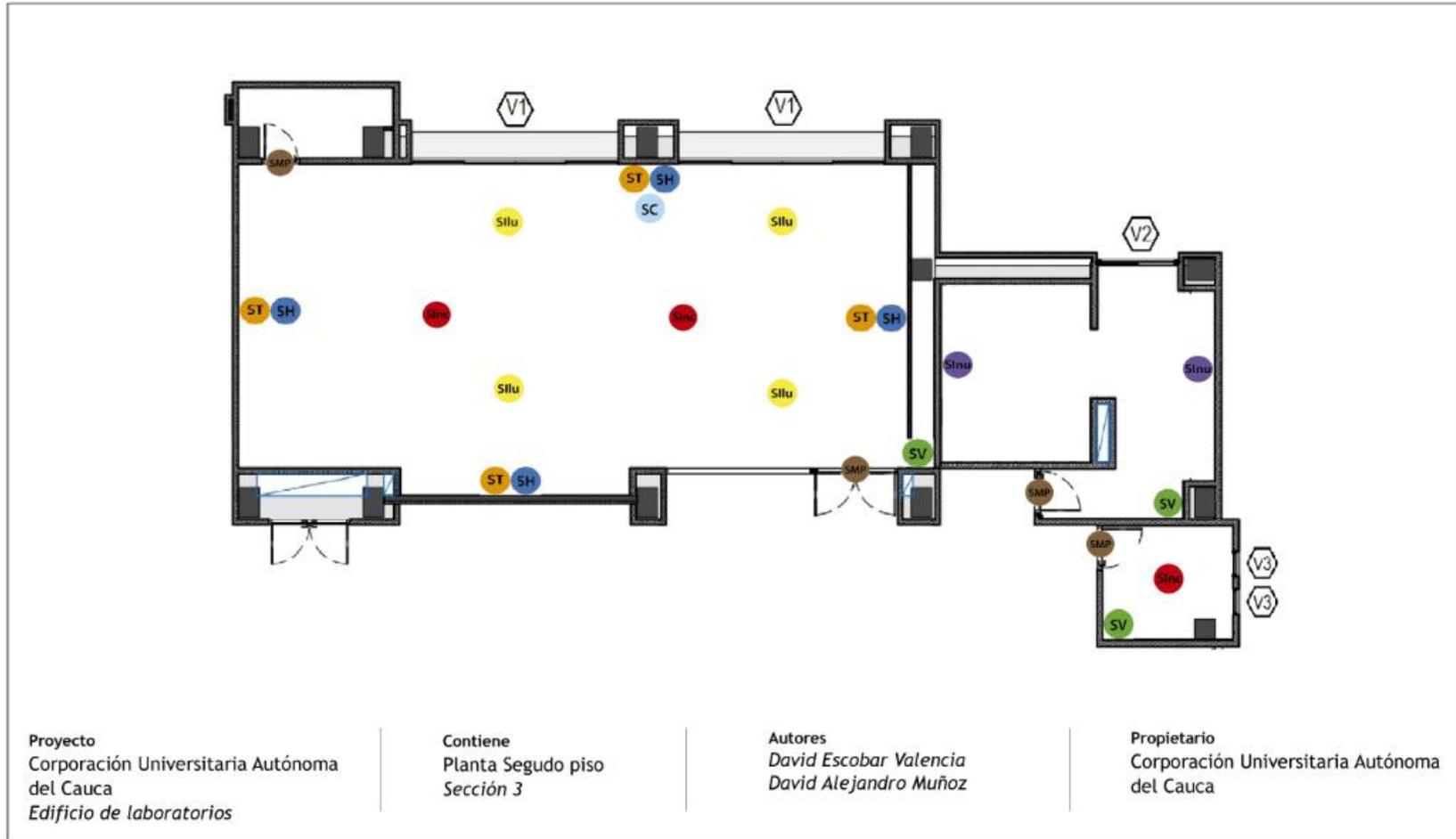
Fuente: Elaboración propia

Figura 28. Plano segundo piso, Sección 2



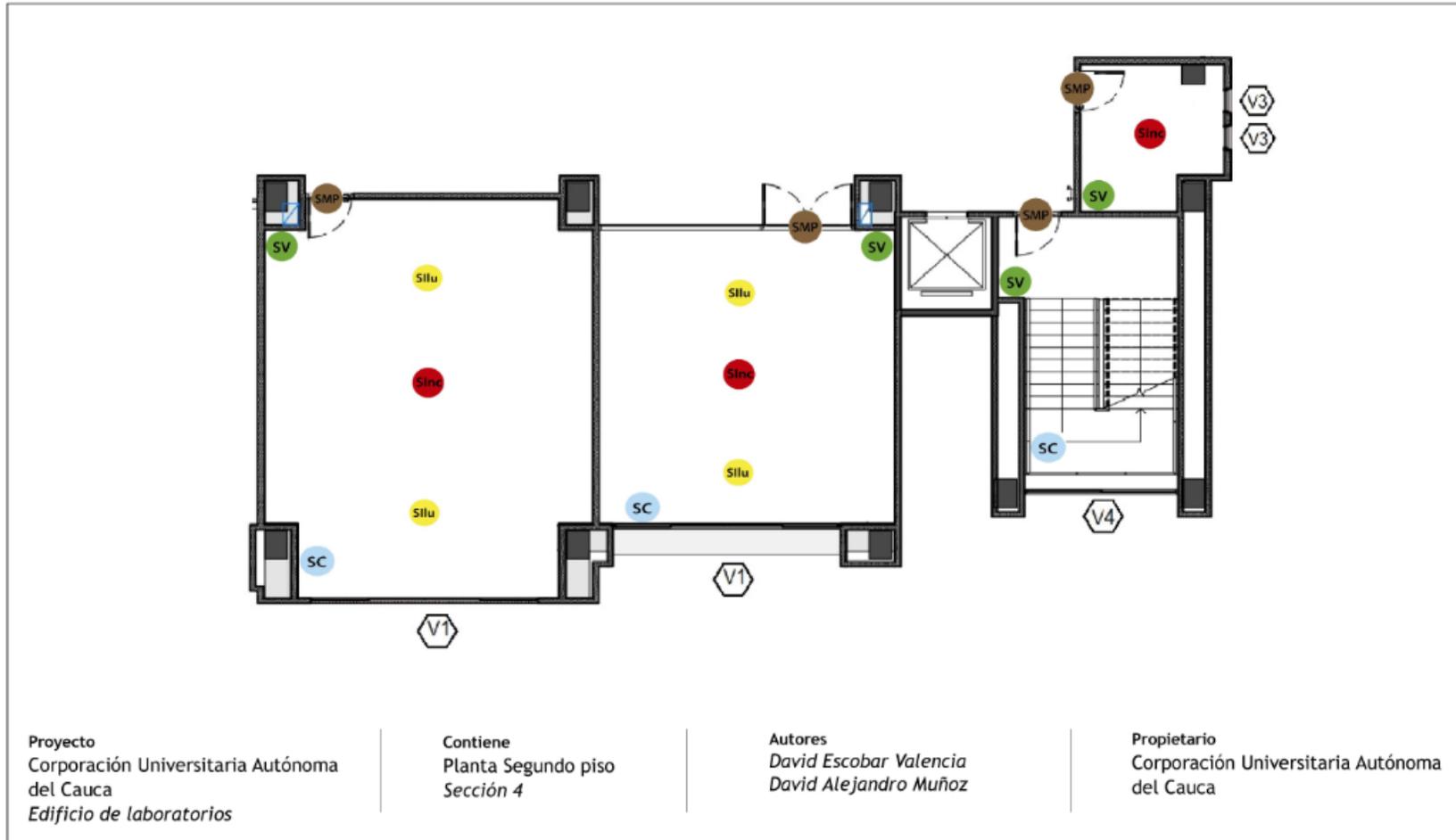
Fuente: Elaboración propia

Figura 29. Plano segundo piso, Sección 3



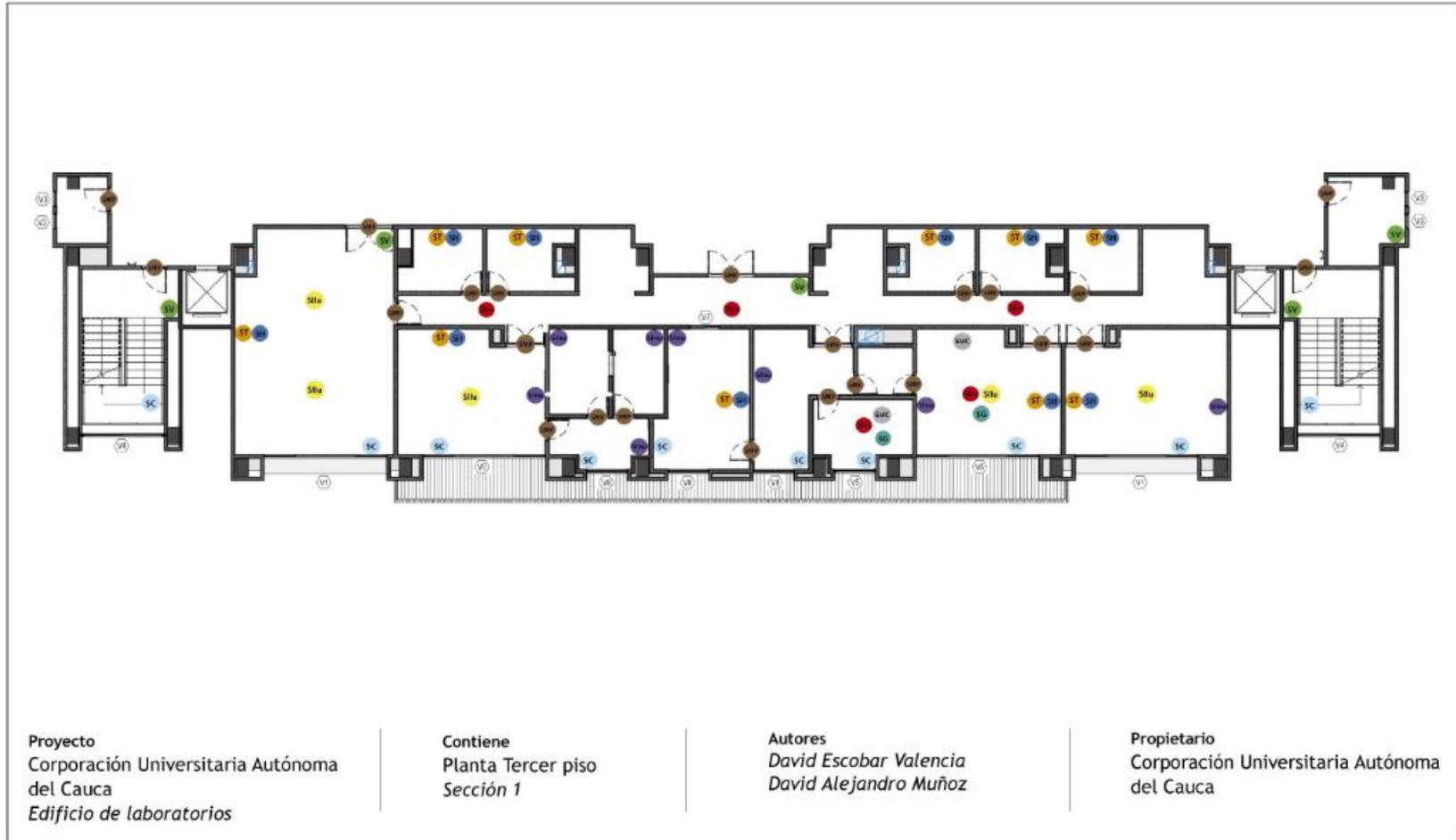
Fuente: Elaboración propia

Figura 30. Plano segundo piso, Sección 4



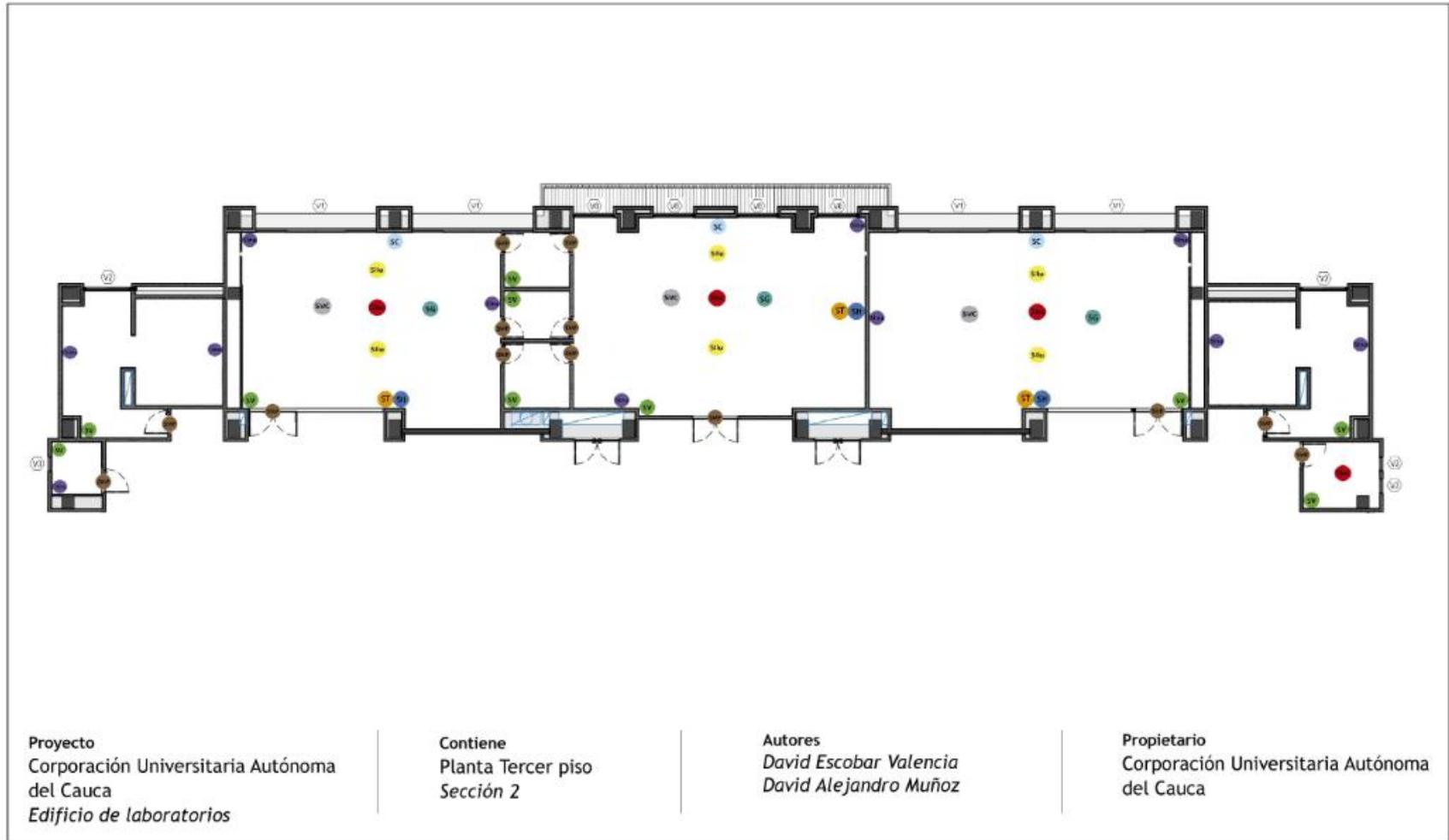
Fuente: Elaboración propia

Figura 31. Plano tercer piso, Sección 1



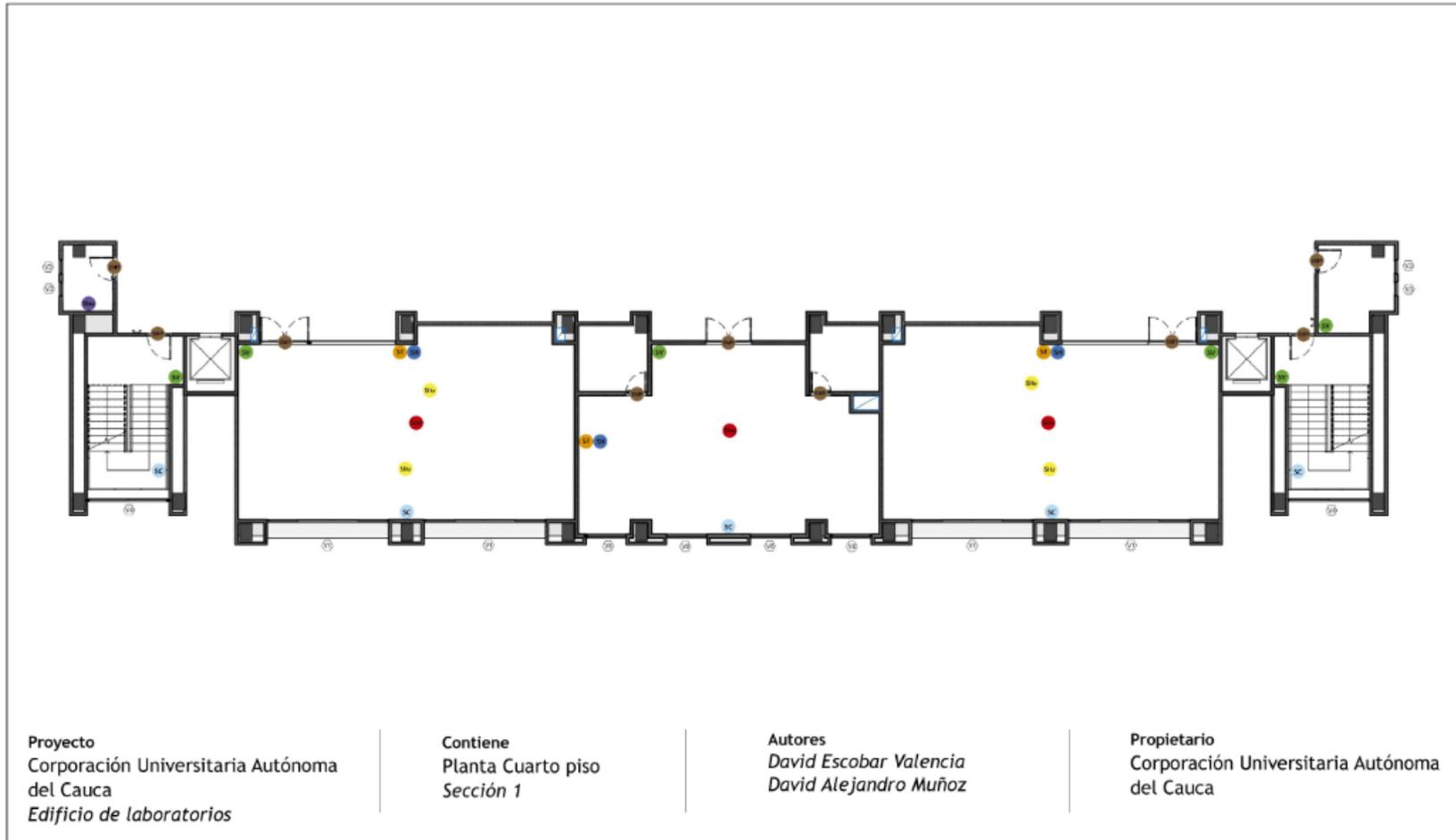
Fuente: Elaboración propia

Figura 32. Plano tercer piso, Sección 2



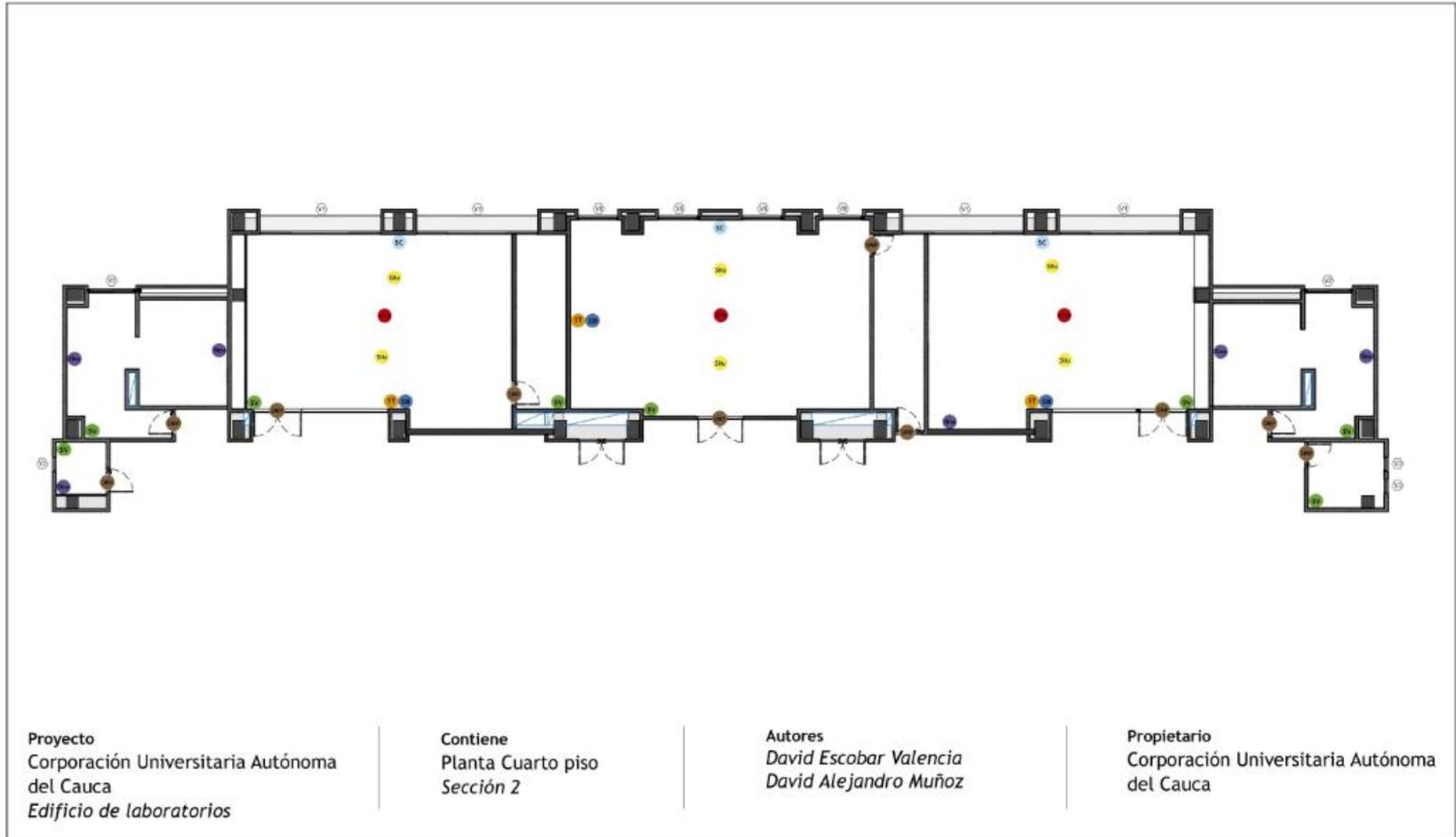
Fuente: Elaboración propia

Figura 33. Plano cuarto piso, Sección 1



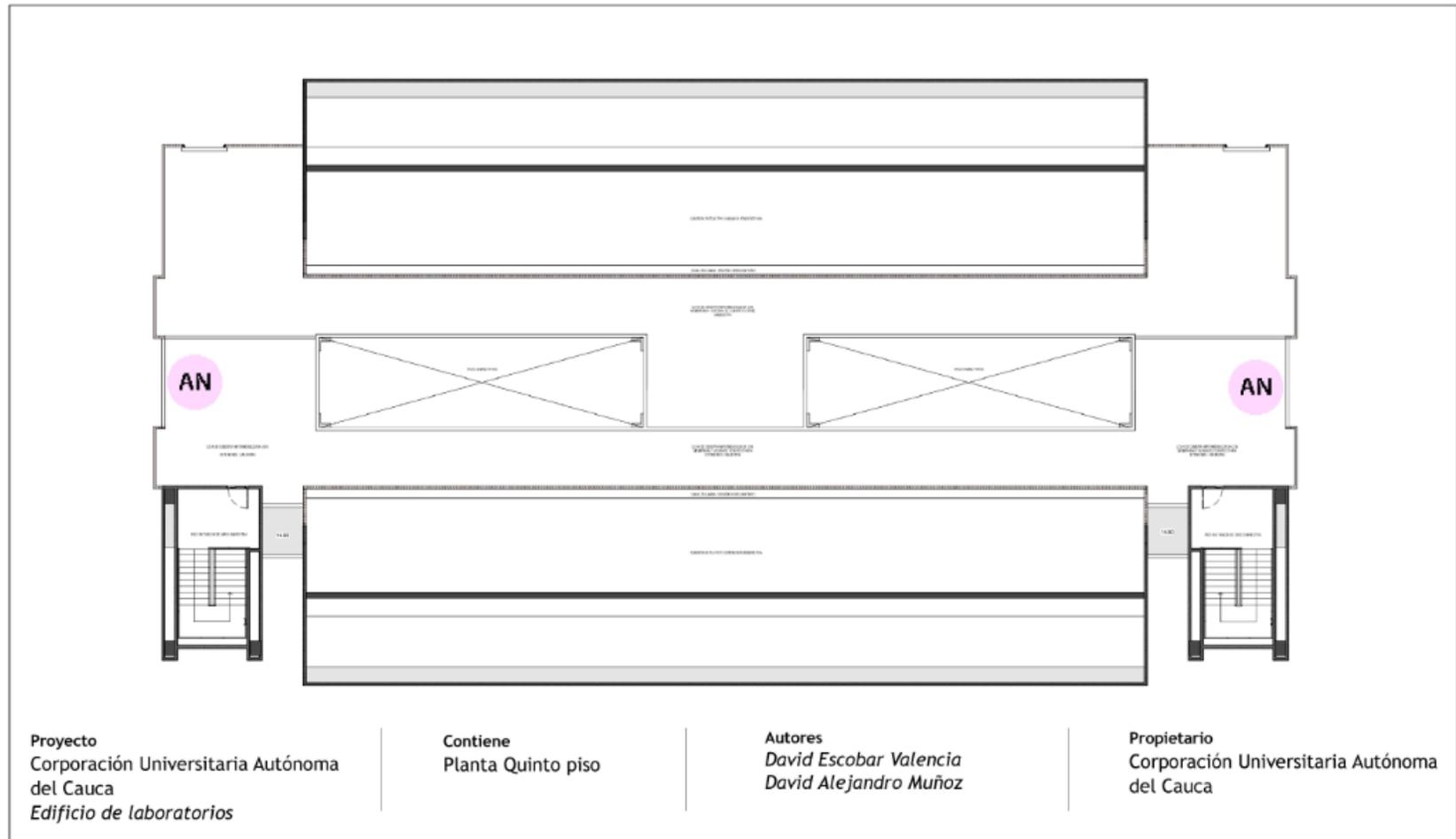
Fuente: Elaboración propia

Figura 34. Plano cuarto piso, Sección 2



Fuente: Elaboración propia

Figura 35. Plano quinto piso, Seccion1



Fuente: Elaboración propia

## 4. MODELADO DEL COMPORTAMIENTO DE LAS VARIABLES TEMPERATURA-HUMEDAD E ILUMINACIÓN EN UN PREDIO CONOCIDO

En este capítulo, se describe el predio y los sensores seleccionados, para llevar a cabo las mediciones de temperatura, humedad e iluminación; seguidamente se esbozan los pasos para el manejo adecuado del TIA Portal V13, y finalmente se presentan los modelos gráficos de las curvas que permiten escalar el comportamiento de dichas variables.

### 4.1 SENSORES Y PREDIO SELECCIONADO

El predio seleccionado es el laboratorio de física, ubicado en la sede “Laboratorios de la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca”, el cual cuenta con 6.15 metros de largo y 4.90 metros de ancho para un área de  $30.13 \text{ m}^2$ . A continuación, se describe la ubicación de tres ventanas, debido a que estas tienen una incidencia directa sobre la intensidad natural de la variable iluminación. En la figura 36 se aprecia una vista interna del laboratorio, el cual cuenta con una ventana que comunica al predio con el patio interno del edificio.

Figura 36. Vista interna del Laboratorio



Fuente: Elaboración Propia

En la figura 37 se ilustran las dos ventanas que dan a la calle que rodea al laboratorio, de igual manera se aprecia que el predio contiene una disposición de mesas para uso estudiantil, así como equipos para las diferentes prácticas y un tablero.

Figura 37. Disposiciones del Laboratorio



Fuente: Elaboración Propia

Por su parte, el sensor de luminosidad, es de procedencia china, fabricado por la empresa *Wumart Cheng Trading Company*, de la serie HL-GZD2.

Este sensor se clasifica como detector- transmisor, es resistente al agua, adecuado para transmisiones de larga de distancia, alta precisión y fácil instalación; los principales usos de este sensor son: meteorología, invernaderos, iluminación urbana y estudios en laboratorios.

Figura 38. Sensor de Iluminación



Fuente: Elaboración Propia

A continuación, en la tabla 7, se aprecia sus especificaciones técnicas, obtenidas a partir de la ficha técnica del dispositivo:

Tabla 7. Indicadores técnicos sensor de iluminación

Indicadores Técnicos	Valores
Rango	0-65000 lux
Precisión	5 %
Repetitividad	<1%
Tiempo de respuesta	60 segundos
Ambiente de trabajo	Temperatura 0-50 °C
	Humedad 94 %
Fuente de alimentación	Desde 12V hasta 24 V
Señal de salida	0-10 V
Instalación	Montado sobre pared o sobre techo.

El sensor de temperatura y humedad, es de tipo compacto, es decir dos en uno, este sensor es de la empresa Autonics, creada en el año de 1977 en Corea del Sur, este dispositivo es utilizado para monitorear dichas variables en: oficinas, centros académicos e invernaderos.

Figura 39. Sensor temperatura-humedad



Fuente: Elaboración Propia

A continuación, en la tabla 8, se aprecia sus especificaciones técnicas, obtenidas a partir de la ficha técnica del dispositivo:

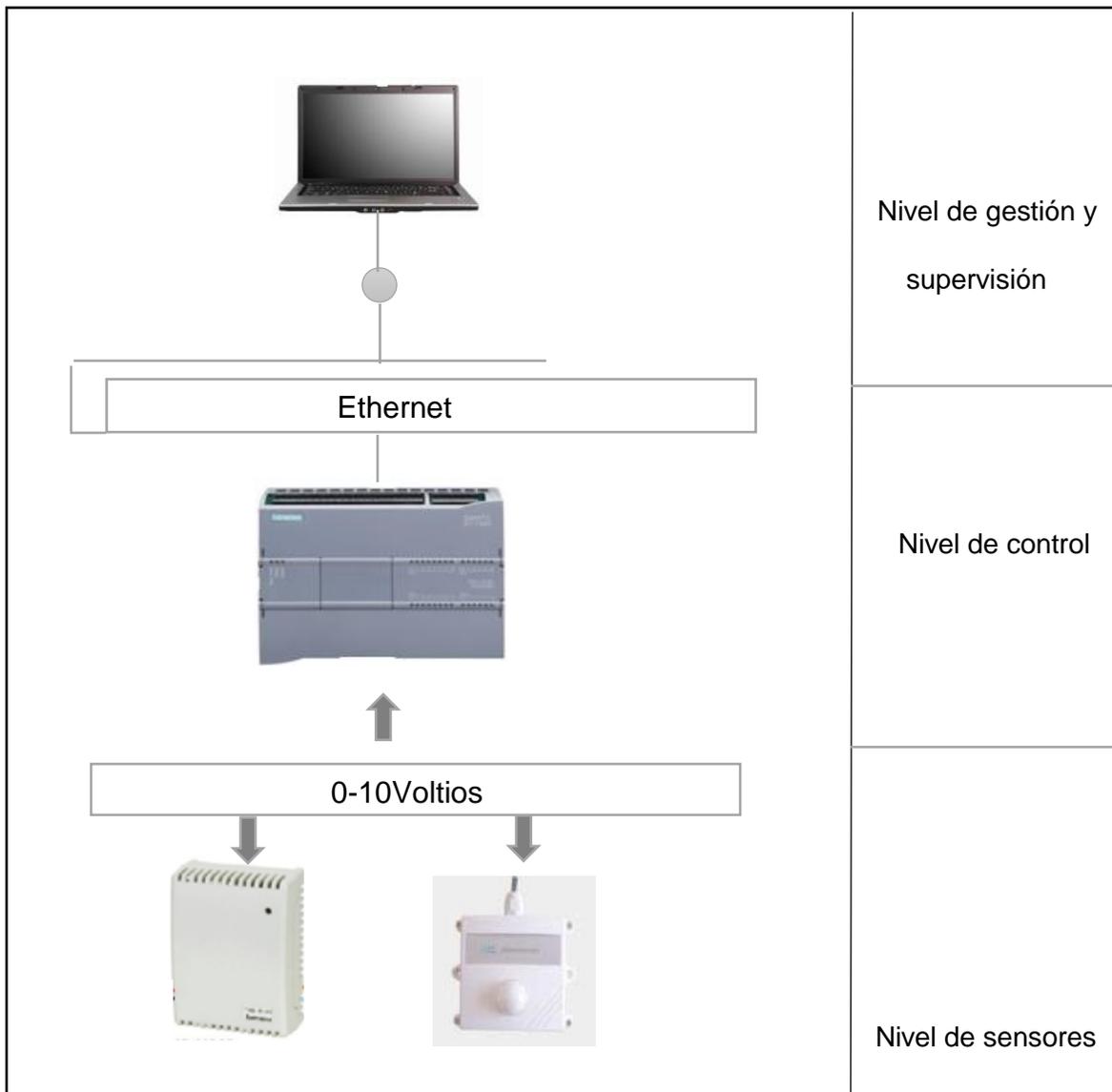
Tabla 8. Indicadores técnicos del sensor temperatura-humedad

Indicadores Técnicos	Valores
Rango	-19.9 a 60 °C y 0-100%
Protección	IP 65
Indicadores	Tipo Led
Fuente de alimentación	Desde 12V hasta 24V
Señal de salida	0-10 V
Tipo de cable	4 hilos
Instalación	Superficie plana, sobre pared

## 4.2 PROGRAMACIÓN DEL PLC S7-1200 Y CONFIGURACIÓN OPC

Tras definir los elementos para realizar las mediciones, se realiza un diagrama de conexiones general, basado en la pirámide de automatización, ilustrado en la figura 40.

Figura 40. Diagrama de conexiones



Fuente: Elaboración propia

Seguidamente, se describe el manejo de la plataforma TIA Portal V13, luego se realiza la configuración de la plataforma OPC; en primer lugar, se debe realizar la conexión del PLC por medio del cable ethernet con el computador portátil, luego se procede a encender el autómata.

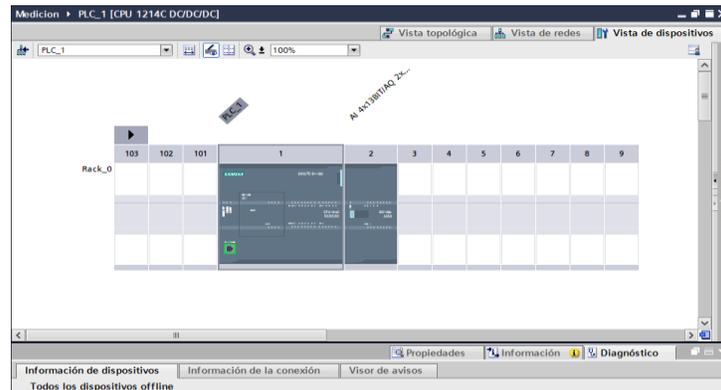
Figura 41. Conexión S7 1200 – Computador



Fuente: Elaboración Propia

Luego se realiza el reconocimiento del PLC con el computador, para ello es necesario tener instalada la plataforma TIA Portal V13, una vez abierto el software, se debe crear un nuevo proyecto, y establecer la ruta y el nombre donde se desea tener el archivo, seguidamente se selecciona el controlador SIMATIC S7-1200 y se ejecuta el proceso de reconocimiento del PLC.

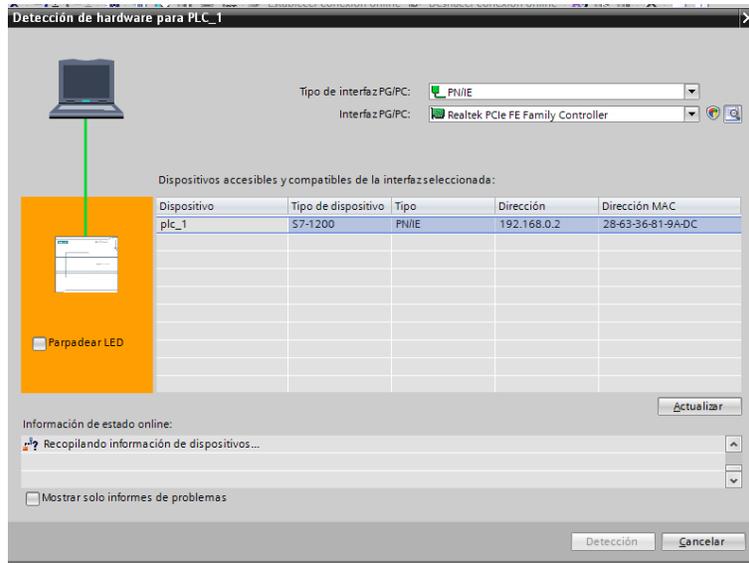
Figura 42. Reconocimiento PLC



Fuente: TIA Portal V13

Seguidamente se debe especificar el tipo de interfaz con la etiqueta PN/E, y el tipo de interfaz referente a la tarjeta de red del computador.

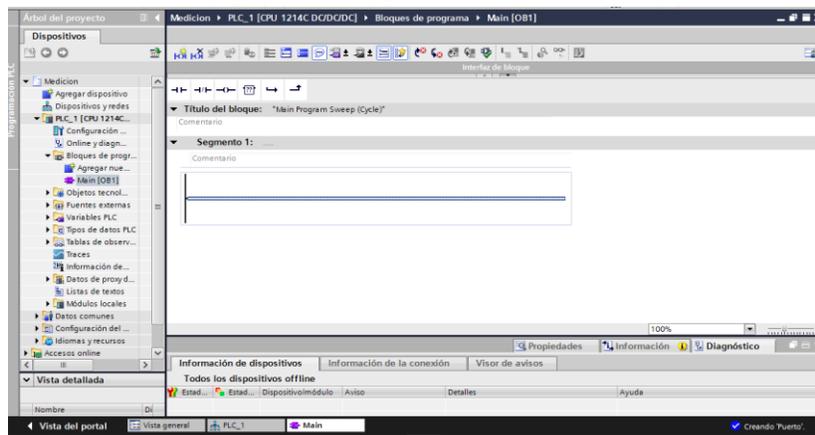
Figura 43. Detección de hardware para PLC



Fuente: TIA Portal V13

Luego se elabora el diagrama en bloques, bajo el lenguaje ladder, mediante el cual se efectúa la lectura analógica de la medición de los sensores respecto a las variables, y posteriormente se obtiene el valor real.

Figura 44. Segmentos en Ladder



Fuente: TIA Portal V13

Acceder a la tabla de variables en donde se crean dos variables analogicas, las cuales corresponden a la temperatura y la humedad, variables de normalizacion, y finalmente se crean las variables que contendran el valor real del comportamiento dentro del predio.

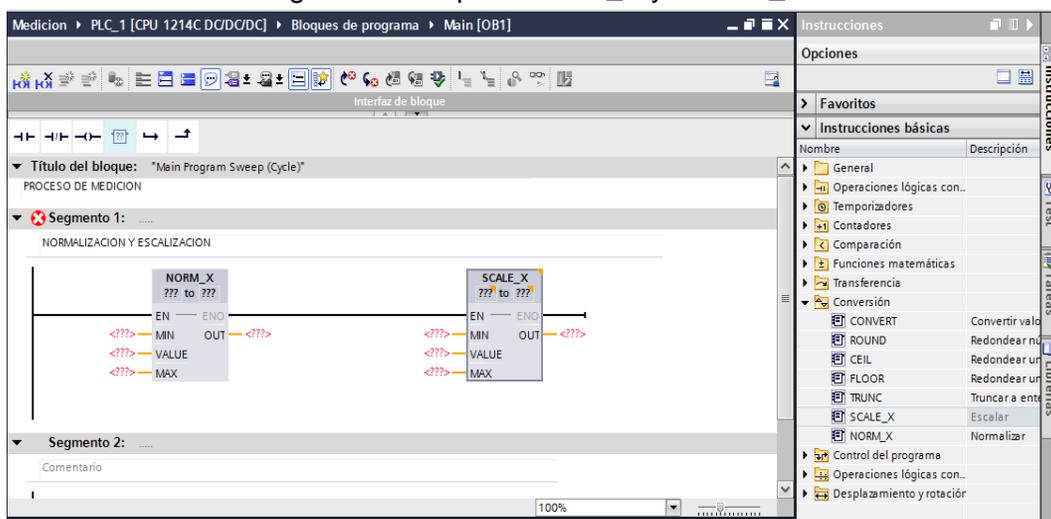
Figura 45. Tabla de variables, temperatura-humedad

Nombre	Tabla de variables	Tipo de datos	Dirección	Rema...	Visibl...	Acces...	Comentario
1	ANALOGICA_TEM	Tabla de variables e. Int	%IW64	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
2	ANALOGICA_HUM	Tabla de variables e. Int	%IW66	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
3	NORMALIZADA_TEM	Tabla de variables e. LReal	%MD0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
4	NORMALIZADA_HUM	Tabla de variables e. LReal	%MD2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
5	TEM_REAL	Tabla de variables e. Real	%MD3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
6	HUM_REAL	Tabla de variabl... Real	%MD4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
7	<Agregar>			<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Fuente: TIA Portal V13

Ahora, se arrastran los bloques de normalización (NORM\_X) y escalización (SCALE\_X), que se encuentran en la pestaña general instrucciones básicas en la carpeta de conversión.

Figura 46. Bloques NORM\_X y SCALE\_X

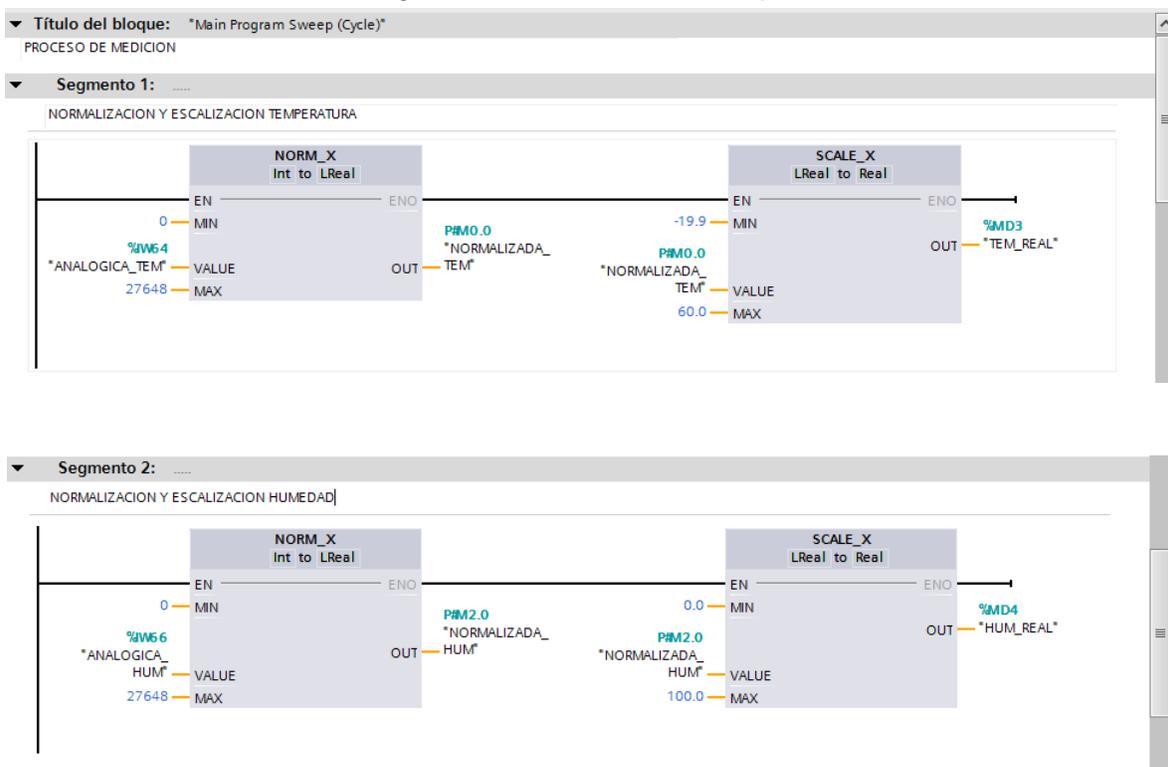


Fuente: TIA Portal V13

Seguidamente se ejecuta la asignación correspondiente para cada parámetro de los bloques; en el caso de NORM\_X, se establece los valores máximos y mínimos de entrada analógica que se representan entre 0 y 27648, y en la opción VALUE se relaciona la variable analógica a leer las cuales son temperatura y humedad.

En OUT, se obtiene la variable normalizada, la cual será el criterio VALUE del bloque de SCALE\_X; en este bloque también se deben configurar los valores mínimos y máximos reales para los que está fabricado el sensor, para el caso de temperatura entre -19.9 °C y 60 °C, y para el caso de humedad entre 0 % y 100%.

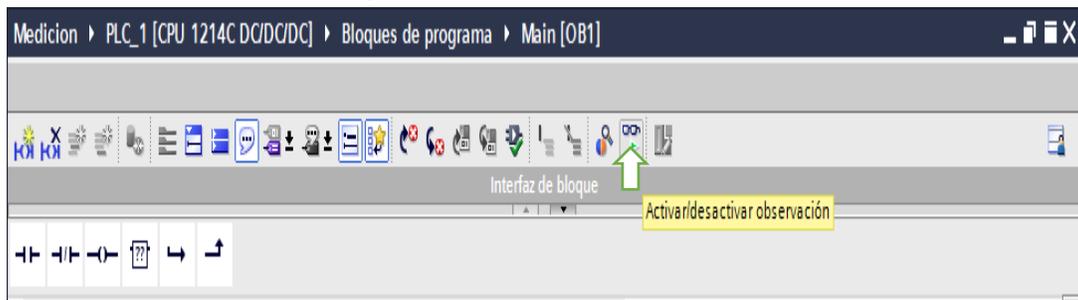
Figura 47. Parámetros en bloques



Fuente: TIA Portal V13

En el modo de conexión online, se puede verificar el óptimo funcionamiento y lectura por medio de esta plataforma; en la parte superior derecha seleccionar el icono de activar/ desactivar observación.

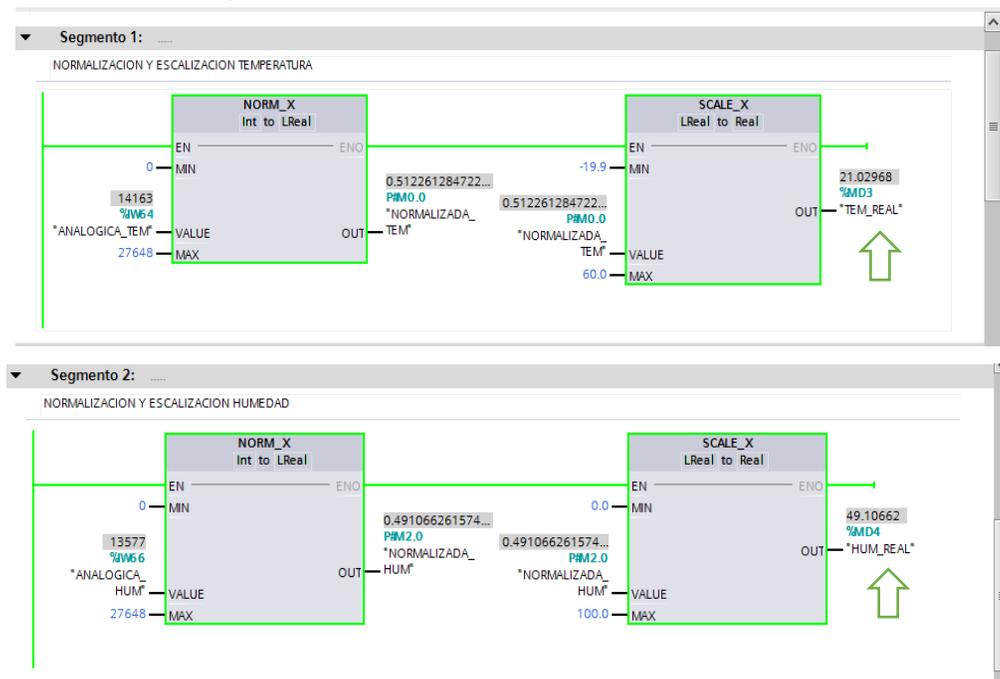
Figura 48. Icono de observación



Fuente: TIA Portal V13

Luego de unos segundos, se obtiene en las variables TEM\_REAL y HUM\_REAL, el valor de medición recibida por los sensores e interpretada por el dispositivo PLC.

Figura 49. Valores reales temperatura-humedad



Fuente: TIA Portal V13

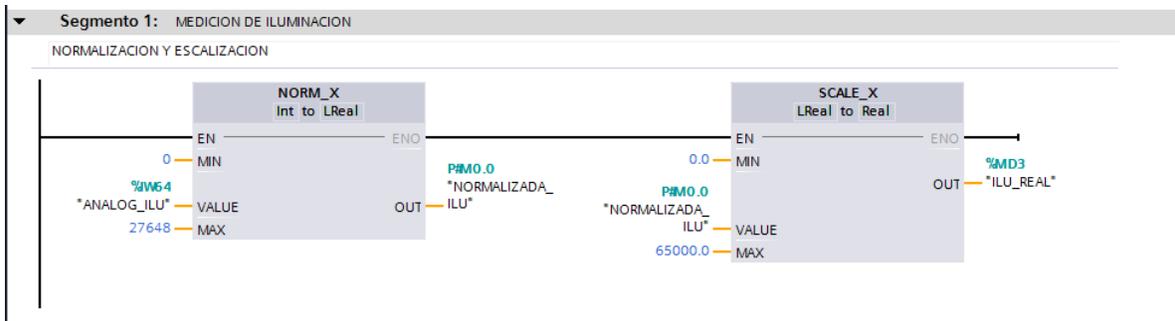
De igual manera se llevó a cabo la medición para la variable de iluminación, realizando los pasos descritos anteriormente.

Figura 50. Tabla de variables, iluminación

Nombre	Tabla de variables	Tipo de datos	Dirección	Rema...	Visibl...	Acces...	Comentario
1 ANALOG_ILU	Tabla de variables	Int	%IW64		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
2 NORMALIZADA_ILU	Tabla de variables	LReal	%MD0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
3 ILU_REAL	Tabla de variables	Real	%MD3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
4 <Agregar>					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

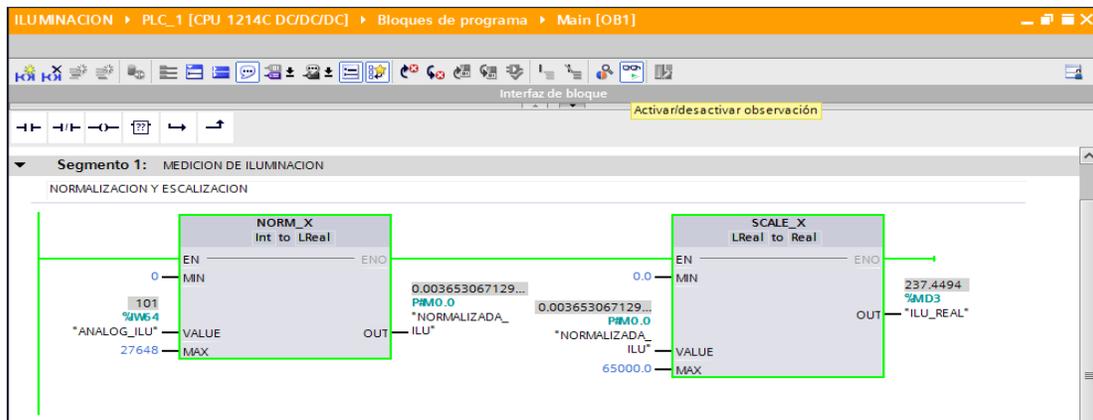
Fuente: TIA Portal V13

Figura 51. Bloques NORM\_X y SCALE\_X



Fuente: TIA Portal V13

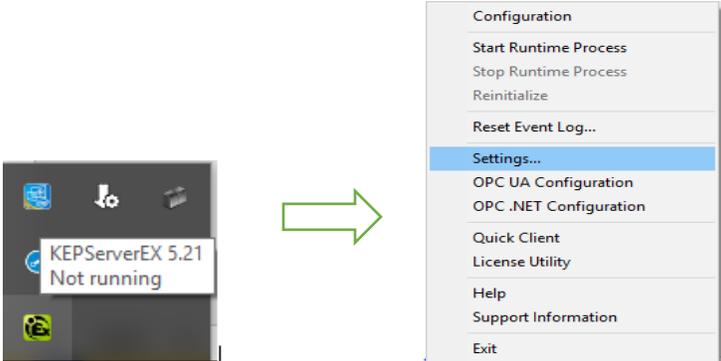
Figura 52. Valores reales de iluminación



Fuente: TIA Portal V13

Posteriormente se realiza el manejo de datos por medio de un OPC; tras instalar la plataforma KepServerEX5, se debe realizar la configuración del servidor DDE, para comunicar el OPC con el PLC.

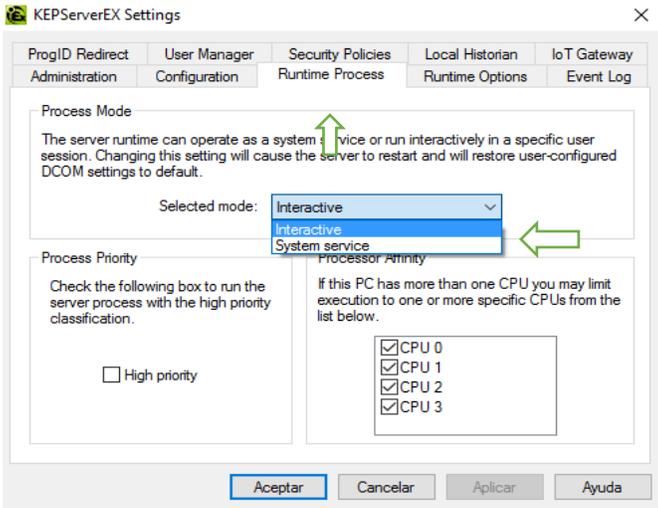
Figura 53. Configuración DDE



Fuente: KEPServer

Posteriormente se abrirá una ventana, en donde se debe acceder a la pestaña *Runtime Process*, luego en la ventana *Selected mode* cambiar a *Interactive*, aplicar y cerrar.

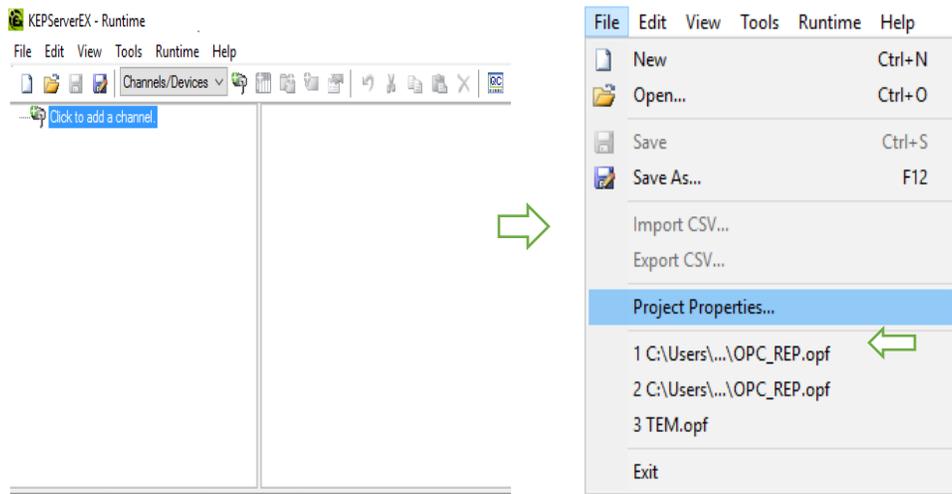
Figura 54. Propiedades



Fuente: KEPServer

Luego ejecutar el acceso directo del KepServer, se desplegará la ventana de inicio, en donde se podrá configurar las propiedades conforme a el DDE.

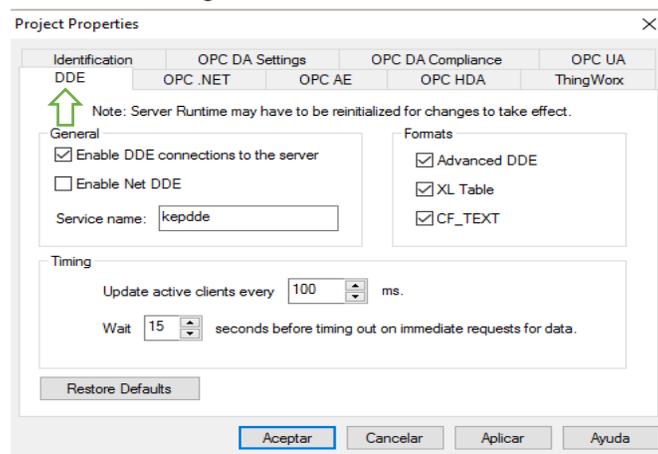
Figura 55. Propiedades de proyecto



Fuente: KEPServer

Tras seleccionar la opción de *Project Properties*, se despliega una nueva ventana, seleccionar la pestaña DDE y posteriormente habilitar la opción en general, aplicar y aceptar.

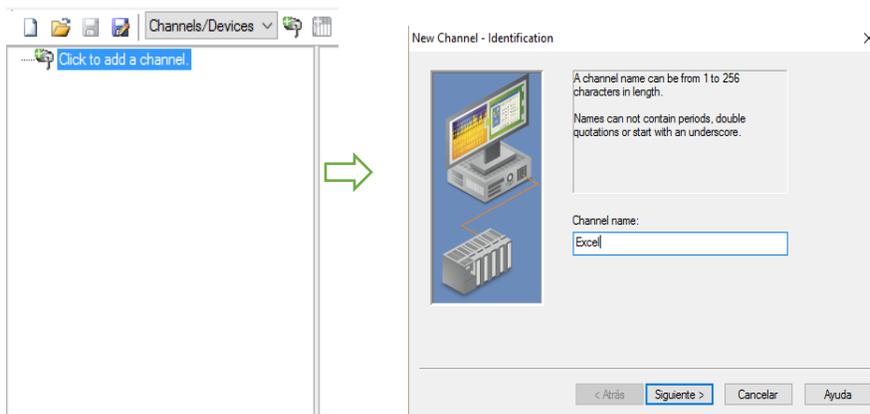
Figura 56. Conexión DDE



Fuente: KEPServer

Ahora se crearán los canales que permiten realizar la comunicación entre el PLC y Excel por medio del OPC, para ello crear un nuevo proyecto, posteriormente adicionar el primer canal, inmediatamente se debe nombrar al canal y establecer la opción de *DDE Client*.

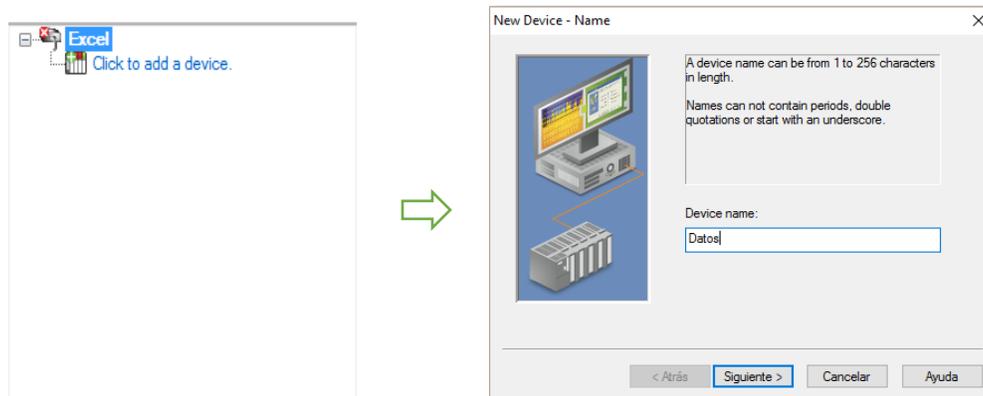
Figura 57. Nuevo canal Excel



Fuente: KEPServer

Tras esperar unos segundos, se habilita el canal llamado Excel, posteriormente adicionar una sub red, luego de dar en siguiente, se establece automáticamente la ventana de comunicación

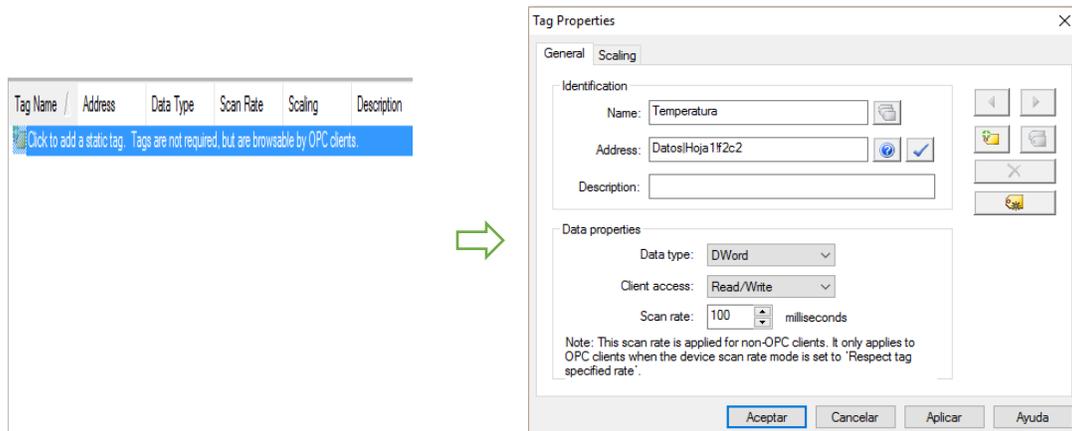
Figura 58. Sub red datos



Fuente: KEPServer

Luego se vincula la hoja de datos de Excel, con la sub red, dar clic en adicionar tag estática y establecer el nombre de la tag, y la dirección en la hoja de Excel.

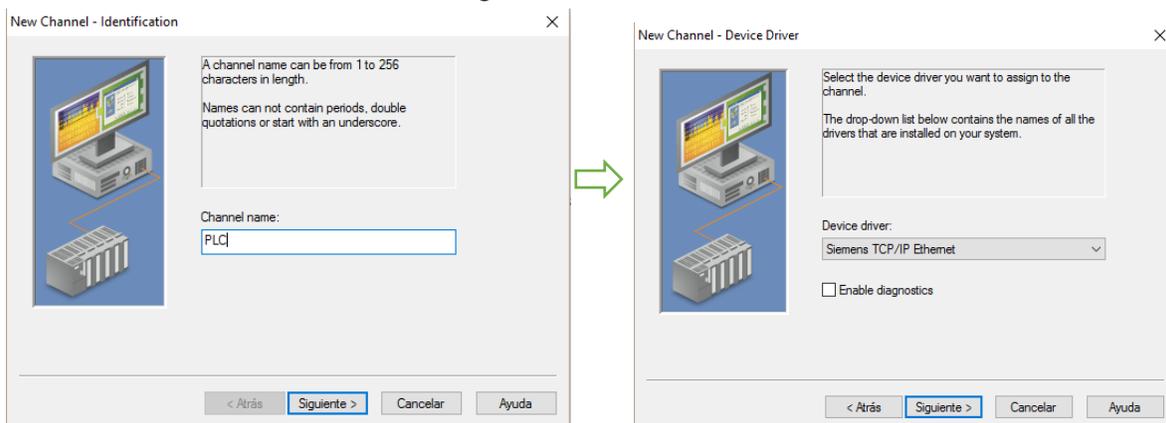
Figura 59. Vinculación sub-red y hoja de datos



Fuente: KEPServer

Ahora se crea el canal para la comunicación con el PLC, para ello originar un nuevo canal, posteriormente seleccionamos el medio de comunicación del PLC-PC.

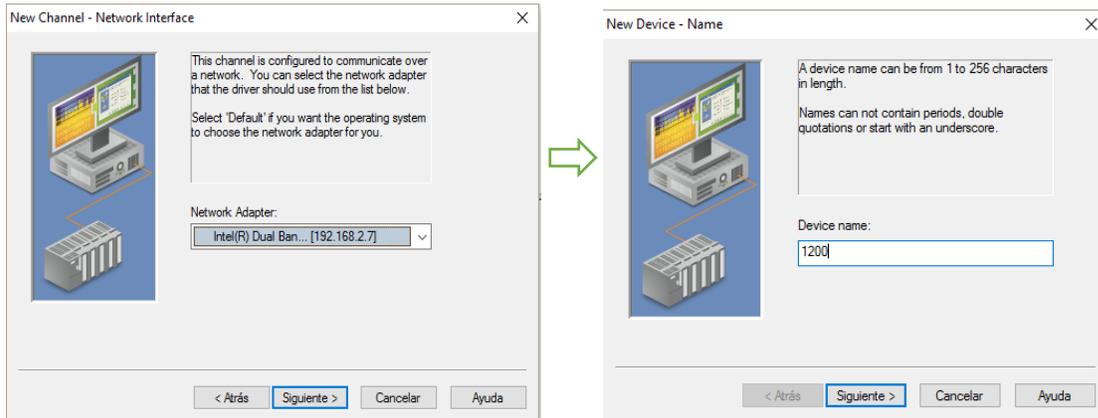
Figura 60. Canal PLC



Fuente: KEPServer

Luego de dar en siguiente, seleccionamos la tarjeta de red del PC, y se adiciona un dispositivo para establecer una nueva sub red.

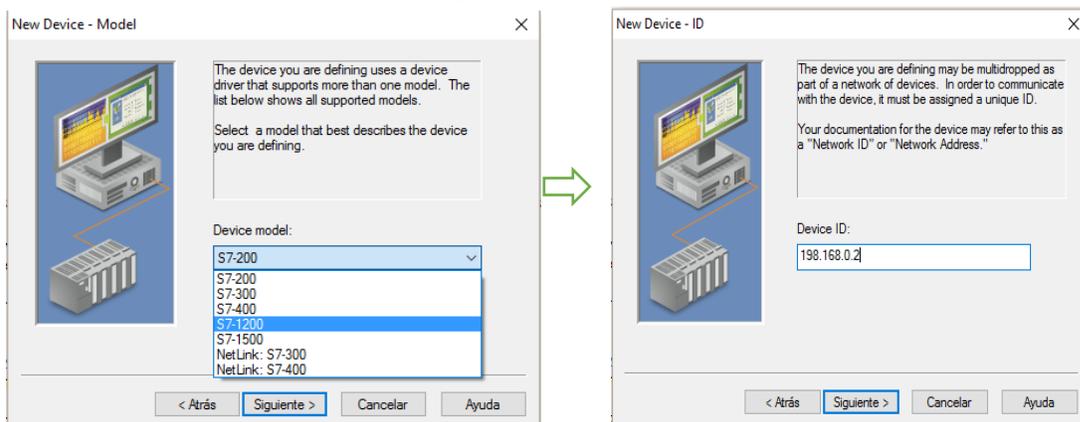
Figura 61. Sub-red 1200



Fuente: KEPServer

Tras dar en siguiente, se ejecuta la ventana que establece el modelo del PLC, posteriormente de forma manual digitar la dirección IP que se ha establecido entre el PLC y el PC.

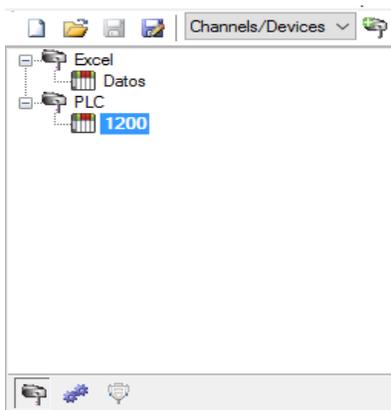
Figura 62. Vinculación IP



Fuente: KEPServer

Tras crear ambos canales y ambas sub red, verificar que se encuentren sin ningún aviso o sugerencia.

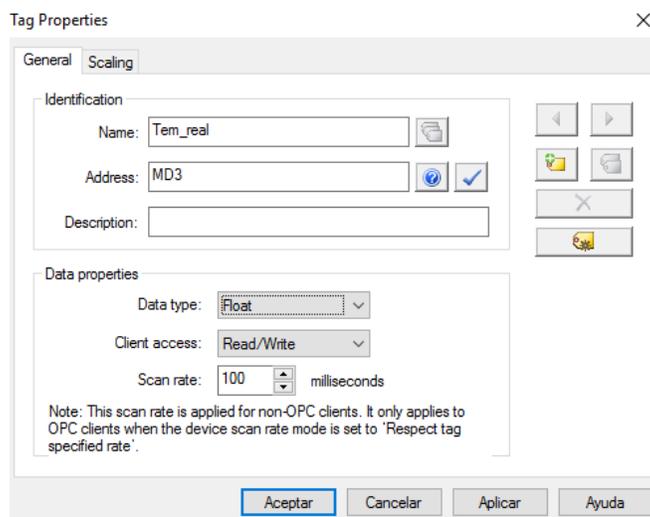
Figura 63. Canal, sub-red correctos



Fuente: KEPServer

Luego dar clic derecho sobre la ventana donde se encuentran los canales, y seleccionar *Tag Properties*, se ejecutará la figura 64, en donde se relacionan por medio de *address* la variable del PLC con Excel.

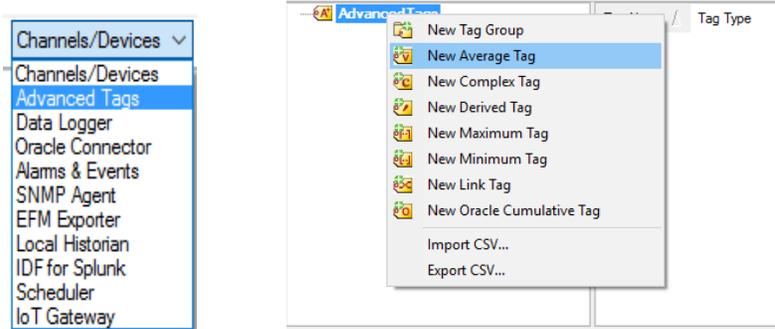
Figura 64. Variable PLC-Excel



Fuente: KEPServer

Cambiar la configuración de *Channels/ Devices* a *Advanced Tags*, en la cual se relacionará los canales con sus sub red, y las sub red con las *tags*.

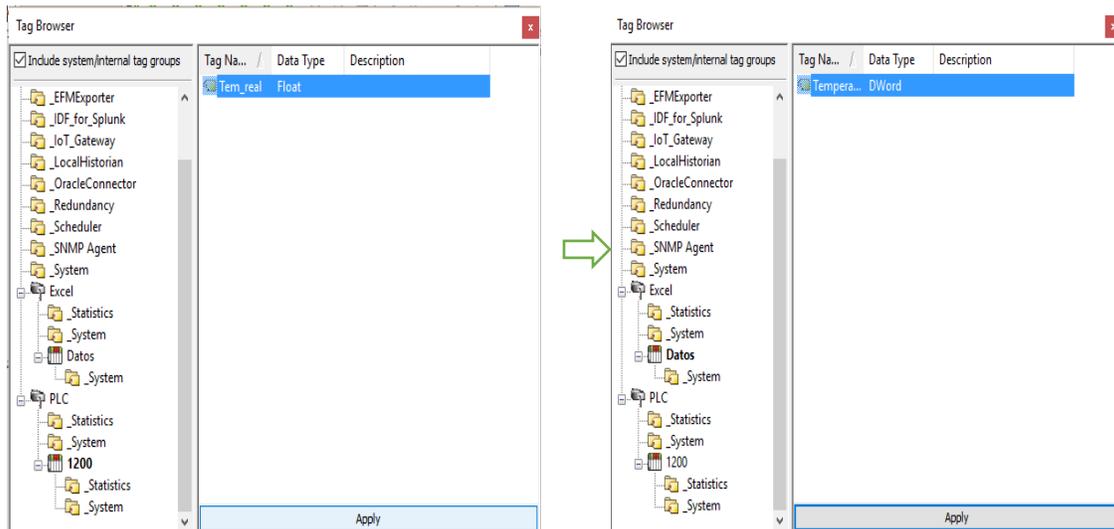
Figura 65. Vinculación canal, sub-red, tag



Fuente: KEPServer

Una vez creada la *New Average Tag*, seleccionar las sub red, Datos y 1200, esperar unos segundos hasta que cargue en la parte derecha las tag, dar en *Apply*.

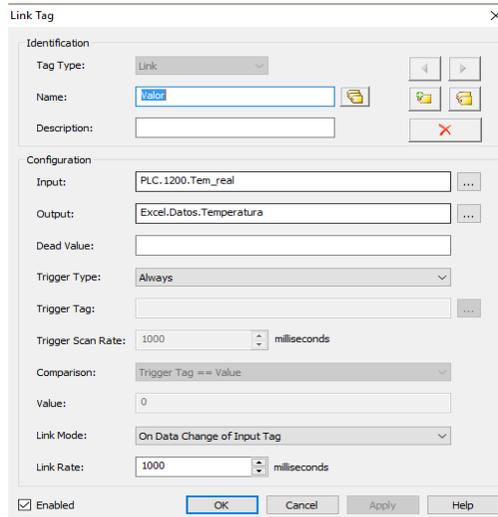
Figura 66. New Average



Fuente: KEPServer

Posteriormente se ejecutará la figura 67, en donde se relacionan los canales, las sub redes y las *tag*, en esta ventana seleccionar siempre el tipo de *tag* denominado *Link*.

Figura 67. Link Tag

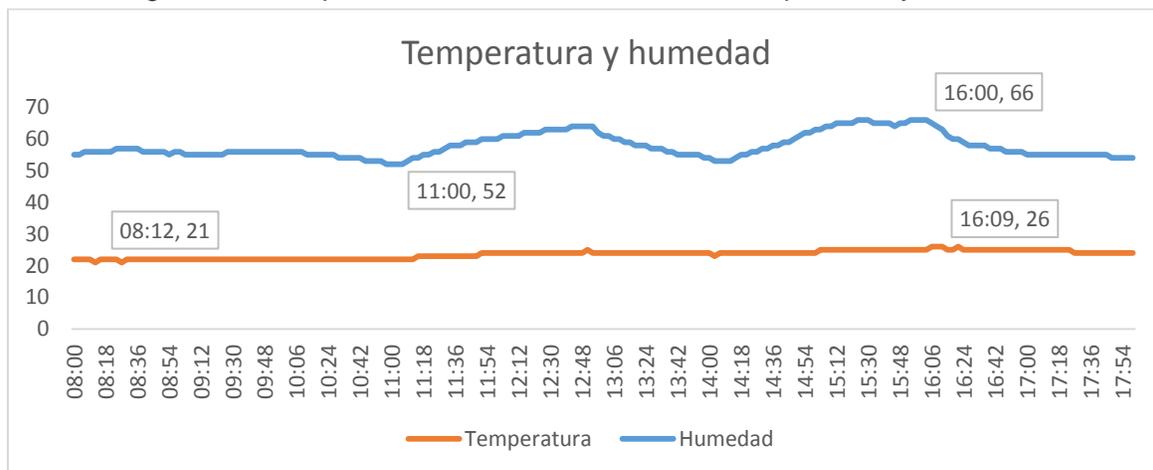


Fuente: KEPServer

### 4.3 CARACTERIZACIÓN DE LAS VARIABLES

Luego de efectuar la medición en el predio durante 8 horas que corresponden a un horario habitual de trabajo, para las variables temperatura-humedad y luminosidad, se determinó el comportamiento de las variables, se obtuvieron las siguientes graficas:

Figura 68. Comportamiento de las variables de temperatura y humedad.



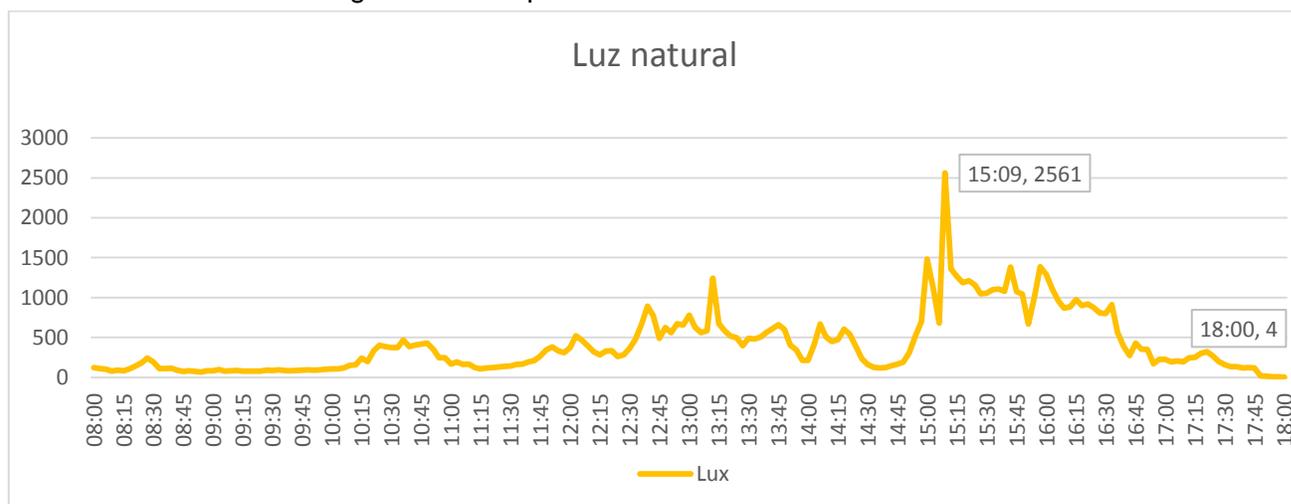
Fuente: Elaboración Propia

Se puede apreciar en la figura 68 el comportamiento de la temperatura, la cual ha sido medida en grados centígrados, presentando un valor mínimo de 21 °C al inicio de la mañana, y un valor máximo de 26 °C, a la mitad de la tarde, es de considerar que la temperatura presenta variaciones a lo largo de la medición, pero es una variable que cambia de forma lenta en el tiempo.

Por su parte la humedad ha sido medida en porcentaje, presentando un valor mínimo del 52 % cercano al medio día, y un valor máximo de 66 % a la mitad de la tarde, presentando de igual manera cambios a lo largo de la medición.

De la misma manera en la siguiente grafica se muestra el comportamiento respecto a la medición de luz natural dentro del predio, durante un periodo de 8 horas.

Figura 69. Comportamiento de luz natural



Fuente: Elaboración Propia

Se aprecia en la figura 69, el comportamiento de la luz natural dentro del laboratorio de física de la institución, medido en unidades lux (Lx), presentando una variación con comportamiento ascendente a lo largo de la mañana, hasta registrar el valor máximo de 2561 Lx, posteriormente se registra un comportamiento descendente hasta registrar el mínimo valor de 4 Lx.

Para apreciar otros comportamientos registrados para las variables, ver anexo A.

## 5. RED INTELIGENTE BASADA EN LÓGICA DIFUSA

En este capítulo se planteó el diseño de un controlador difuso, el cual relaciona los dispositivos de una red inteligente para las variables seleccionadas; para implementar los controladores, se utiliza la plataforma Matlab, por medio del *toolbox* de lógica difusa (*Fuzzy logic toolbox*).

Empleando el comando *fuzzy*, se establece el área de trabajo denominada *FIS Editor*, en donde se seleccionan el número de entradas y salidas del controlador, además de establecer la relación de reglas para ejercer una salida óptima.

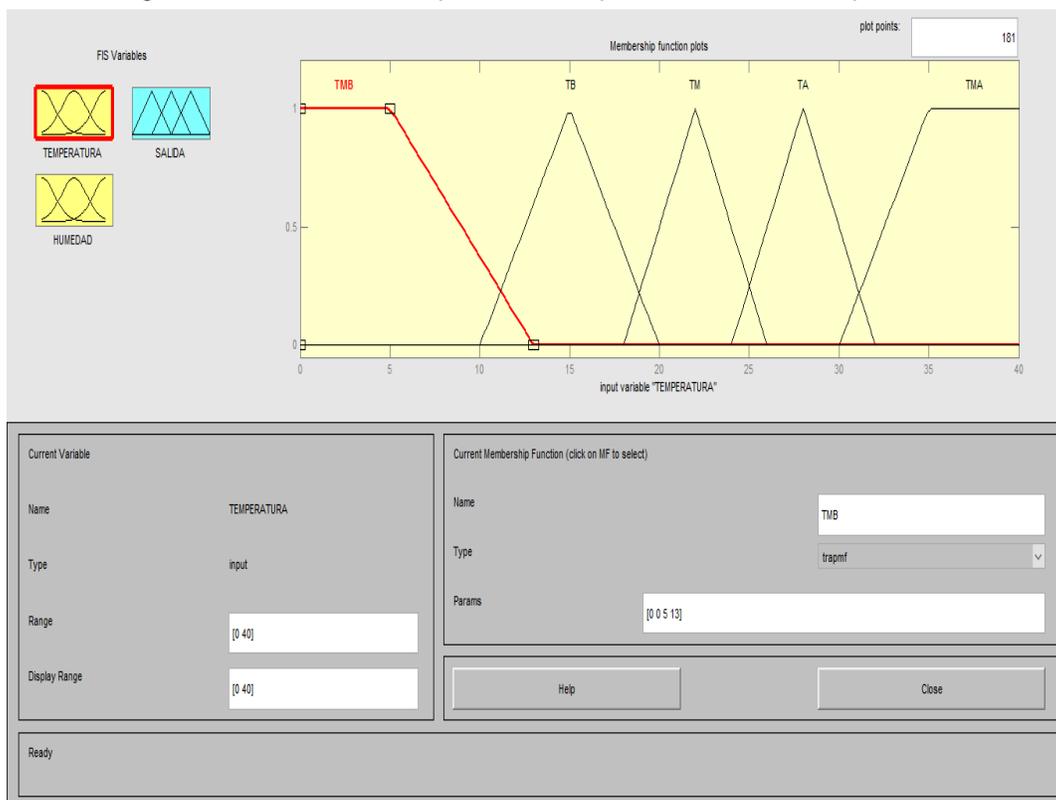
### 5.1 MODELO DIFUSO PARA TEMPERATURA- HUMEDAD

En el caso del primer controlador, se asigna como entradas a las variables de temperatura y humedad, las cuales se encuentran limitadas por los parámetros de comportamiento, seguidamente la salida de este controlador se establece en rangos de grados centígrados, considerando como conjunto óptimo a la temperatura media, a continuación, se tiene:

Tabla 9. Funciones de pertenencia, variable temperatura

Variable Lingüística	Símbolo	Rango (°C)
Temperatura muy baja	TMB	0-13
Temperatura baja	TB	10-20
Temperatura media	TM	18-26
Temperatura alta	TA	24-32
Temperatura muy alta	TMA	30-40

Figura 70. Funciones de pertenencia para la entrada temperatura



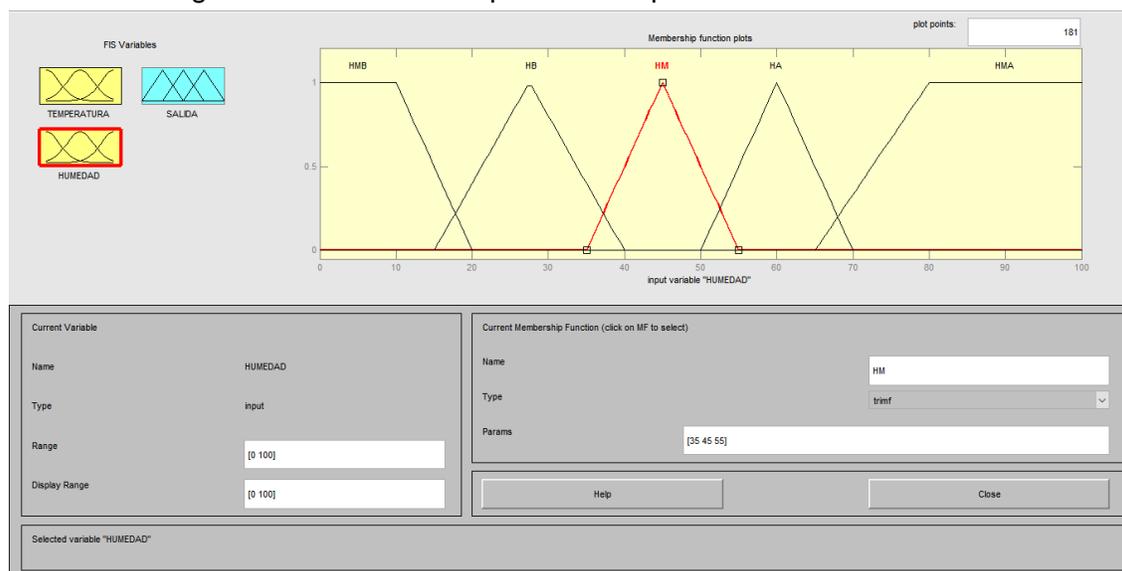
Fuente: *Fuzzy Logic Toolbox*

Posteriormente se describen los conjuntos definidos para la entrada de humedad:

Tabla 10. Funciones de pertenencia, variable humedad

Variable Lingüística	Símbolo	Rango (%)
Humedad muy baja	HMB	0-20
Humedad baja	HB	15-40
Humedad media	HM	35-55
Humedad alta	HA	50-70
Humedad muy alta	HMA	65-100

Figura 71. Funciones de pertenencia para la entrada humedad



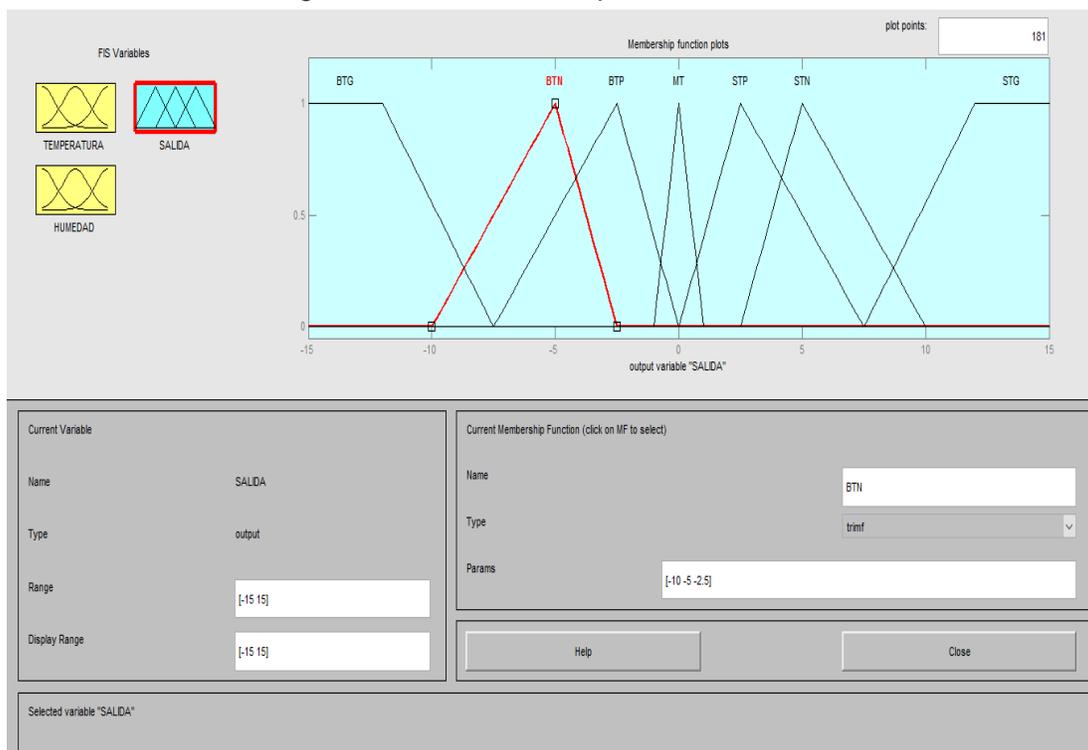
Fuente: *Fuzzy Logic Toolbox*

Seguidamente para los rangos de salida, se tiene:

Tabla 11. Funciones de pertenencia, variable salida

Variable lingüística	Símbolo	Rango (°C)
Bajada de temperatura Grande	BTG	-15 - -7.5
Bajada de temperatura normal	BTN	-10 - -2.5
Bajada de temperatura pequeña	BTP	-7.5 - 0
Mantener temperatura	MT	-1 - 1
Subida de temperatura pequeña	STP	0 – 7.5
Subida de temperatura normal	STN	2.5 – 10
Subida de temperatura grande	STG	7.5 - 15

Figura 72. Funciones de pertenencia salida



Fuente: *Fuzzy Logic Toolbox*

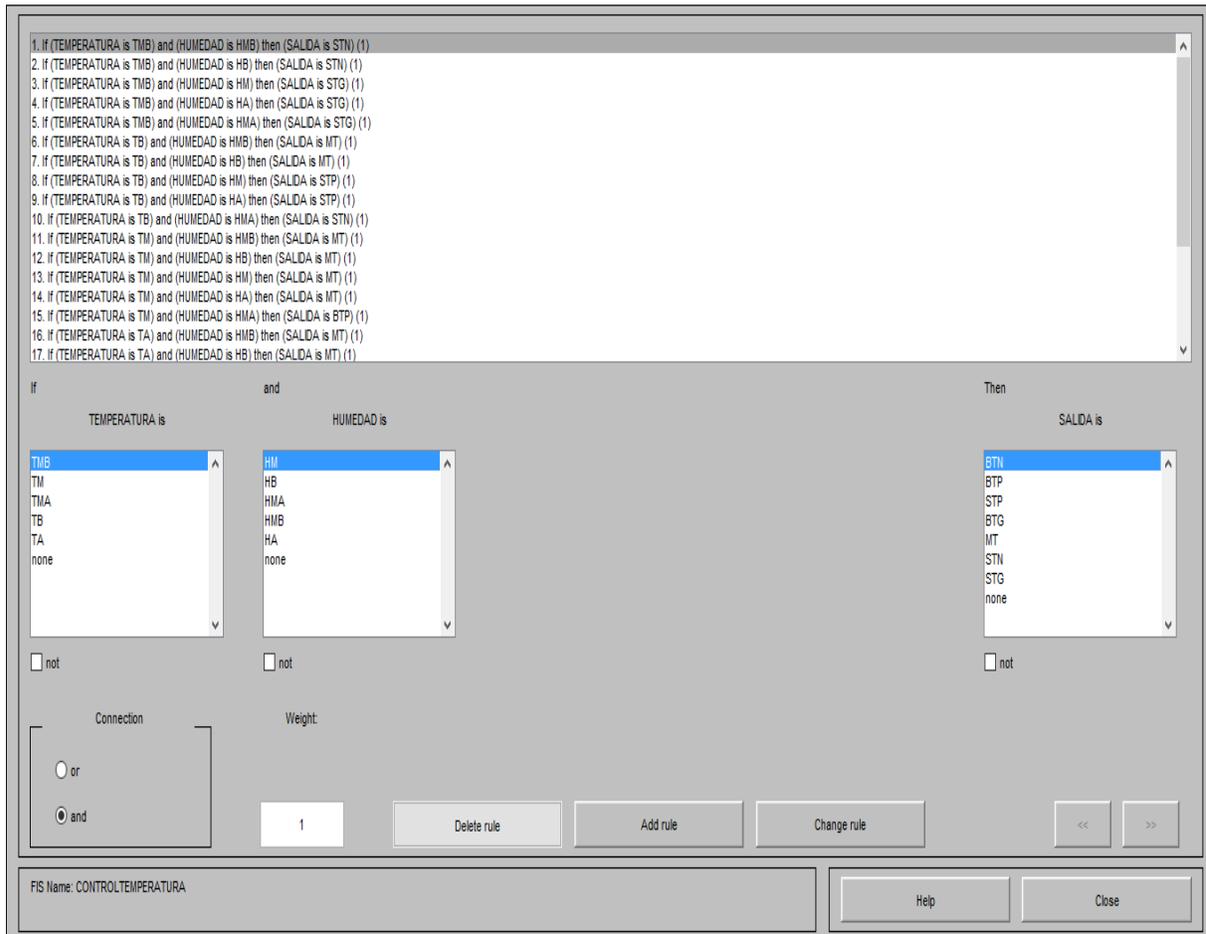
Una vez establecidas las entradas del sistema, se procede a relacionar las funciones de pertenencia con la salida, descrito en la tabla 12.

Tabla 12. Inferencia difusa, temperatura-humedad

Temperatura	Humedad				
	HMB	HB	HM	HA	HMA
TMB	STN	STN	STG	STG	STG
TB	MT	MT	STP	STP	STN
TM	MT	MT	MT	MT	BTP
TA	MT	MT	BTP	BTP	BTN
TMA	BTP	BTN	BTN	BTG	BTG

Tras establecer la tabla de inferencia difusa, se relacionan por medio de una secuencia IF – THEN, con la herramienta Rule Editor:

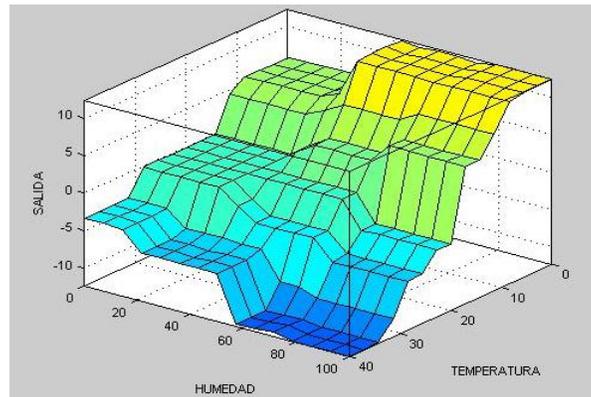
Figura 73. Rule Editor



Fuente: *Fuzzy Logic Toolbox*

Finalmente se obtiene gráficamente la relación de las entradas temperatura-humedad y la salida del sistema, conocido como superficie de control difusa por medio de la herramienta *Surface*:

Figura 74. Visualizador de superficie



Fuente: *Fuzzy Logic Toolbox*

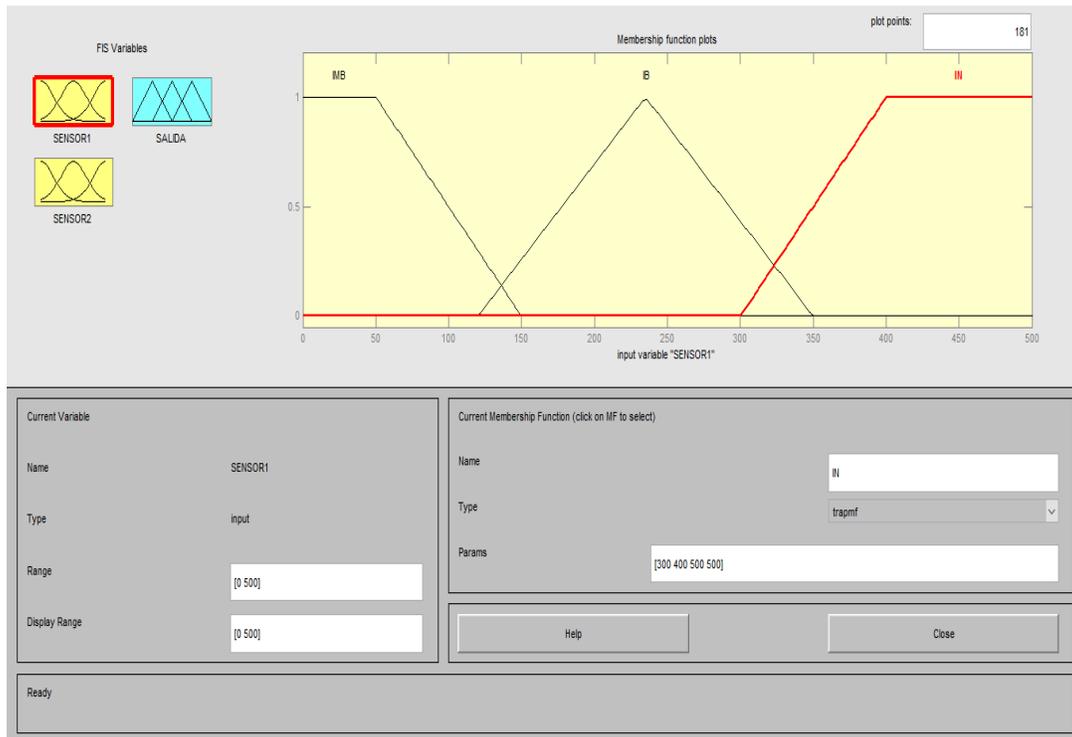
## 5.2 MODELO DIFUSO PARA ILUMINACIÓN

Para el segundo controlador, se asigna como entradas a la variable de iluminación representada en dos sensores, en este caso las funciones de pertenencia y los rangos de entrada son iguales para los sensores 1 y 2, considerando como valor optimo una iluminación de 500 Lx, por su parte la salida del controlador se establece en porcentajes de intensidad.

Tabla 13. Funciones de pertenencia, variable sensor 1 y 2

Variable Lingüística	Símbolo	Rango (Lux)
Iluminación muy baja	IMB	0-150
Iluminación baja	IB	120-350
Iluminación normalizada	IN	300-500

Figura 75. Funciones de pertenencia, entrada sensor 1 y 2



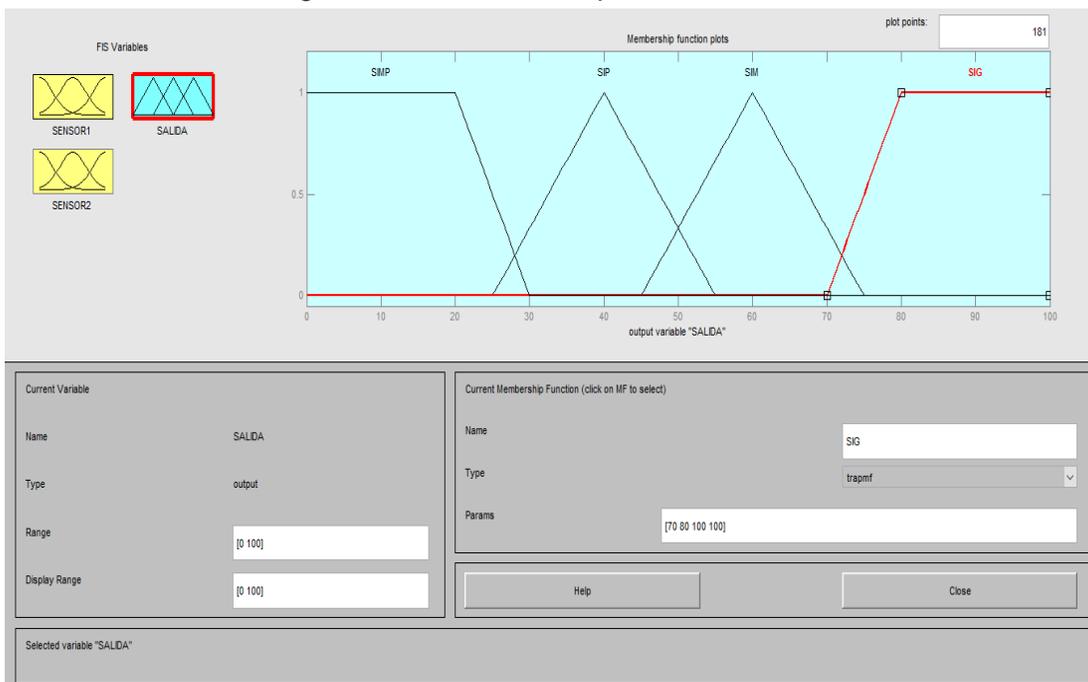
Fuente: *Fuzzy Logic Toolbox*

Por su parte la salida de controlador se definió de la siguiente manera:

Tabla 14. Funciones de pertenencia, variable salida

Variable lingüística	Símbolo	Rango (%)
Salida iluminación muy pequeña	SIMP	0-30
Salida iluminación pequeña	SIP	25-55
Salida iluminación media	SIM	45-75
Salida iluminación grande	SIG	70-100

Figura 76. Funciones de pertenencia salida



Fuente: *Fuzzy Logic Toolbox*

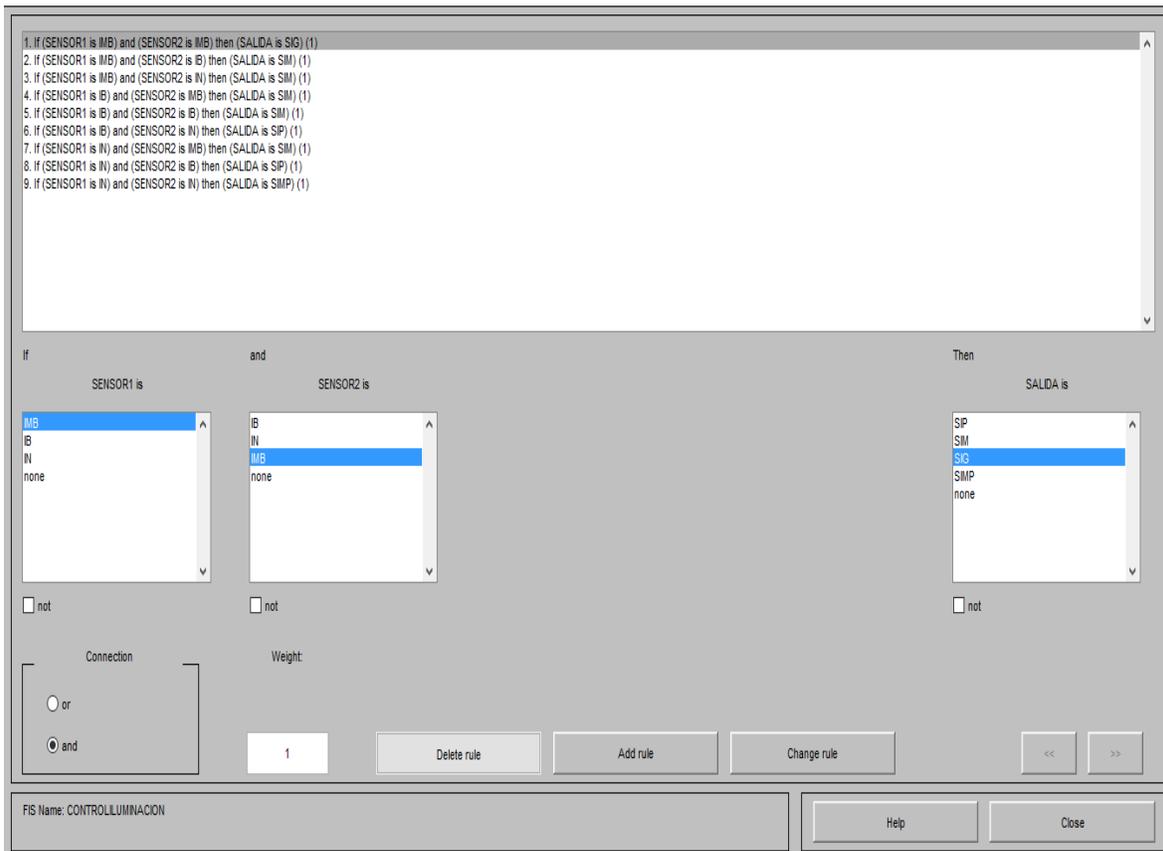
Una vez establecidas las entradas del sistema, se procede a relacionar las funciones de pertenencia con la salida, descrito a continuación en la tabla 15.

Tabla 15. Inferencia difusa, iluminación

Sensor 1	Sensor 2		
	IMB	IB	IN
IMB	SIG	SIM	SIM
IB	SIM	SIM	SIP
IN	SIM	SIP	SIMP

Tras establecer la tabla de inferencia difusa, se relacionan por medio de una secuencia IF – THEN, con la herramienta *Rule Editor*.

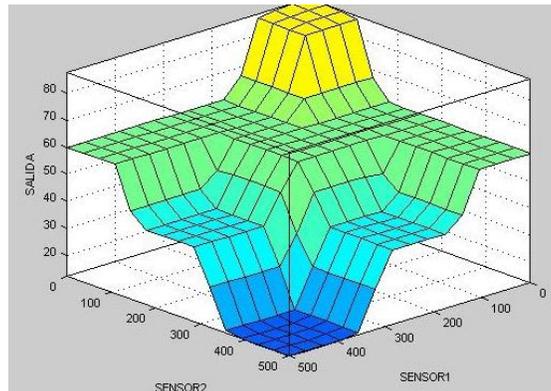
Figura 77. Rule Editor



Fuente: *Fuzzy Logic Toolbox*

Finalmente se obtiene gráficamente la relación de iluminación y la salida del sistema, conocido como superficie de control difusa por medio de la herramienta *Surface*:

Figura 78. Visualizador de superficie

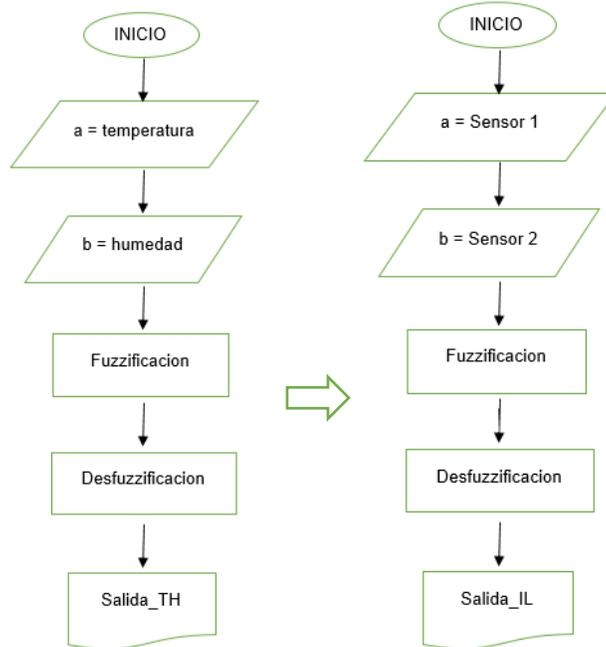


Fuente: *Fuzzy Logic Toolbox*

Los diagramas de flujo ilustrados en la figura 79 muestran la secuencia del código implementado (ver anexo B) para la lectura de las variables y el posterior tratamiento mediante la herramienta *fuzzy*.

Para esto se leen las variables que corresponden a la lectura de los sensores, inmediatamente se hace el proceso de fuzzificación el cual se determina según las reglas de inferencia y posteriormente se hace el proceso de desfuzzificación el cual arroja el valor de la salida del sistema.

Figura 79. Diagramas de flujo



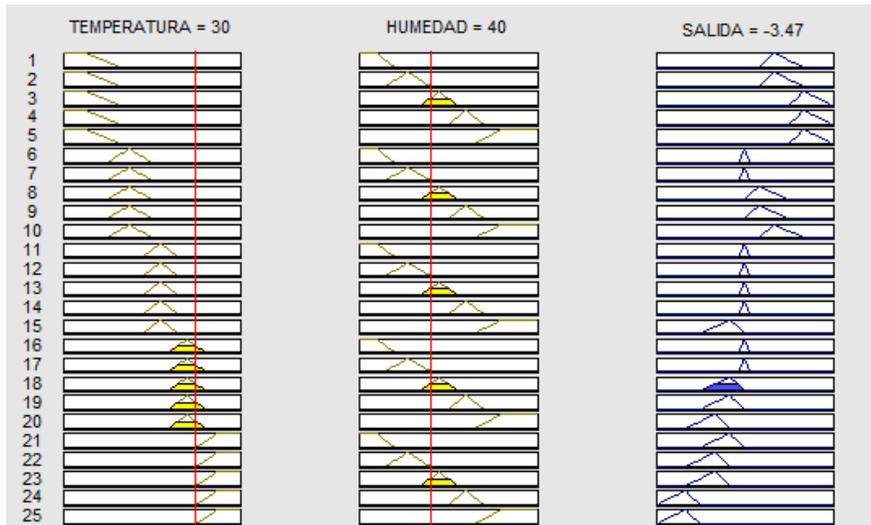
Fuente: Elaboracion Propia

### 5.3 RESULTADOS

A continuación, se muestra dos resultados diferentes para cada controlador, ingresando datos que reflejan el comportamiento de las variables en el predio. Para el primer controlador, al iniciar la simulación, el programa solicita ingresar los valores de temperatura y humedad que estarían midiendo los sensores en condiciones reales, los datos ingresados fueron:

Temperatura: 30 °C, Humedad: 40 %

Figura 80. Activación de reglas difusas, temperatura-humedad

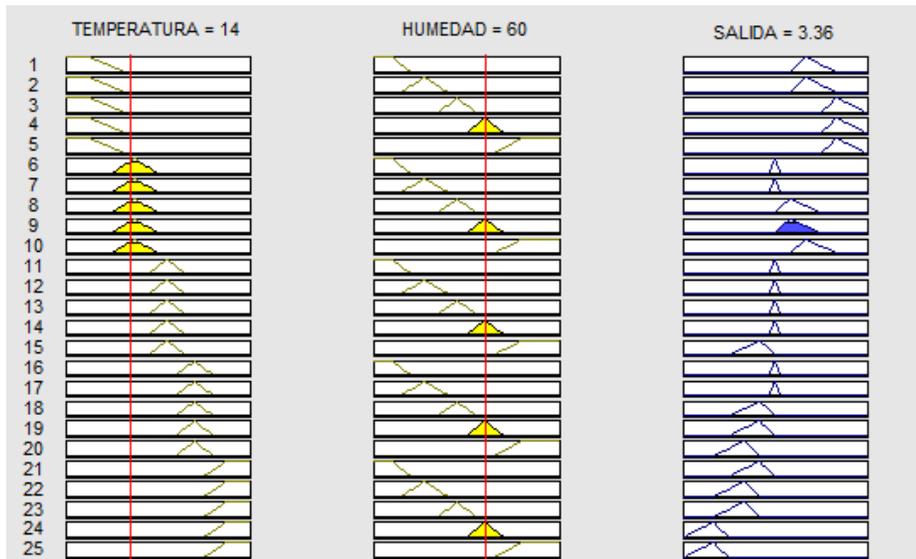


Fuente: *Fuzzy Logic Toolbox*

La segunda prueba se realizó con los siguientes valores:

Temperatura: 14 °C, Humedad: 60 %

Figura 81. Activación de reglas difusas, temperatura-humedad

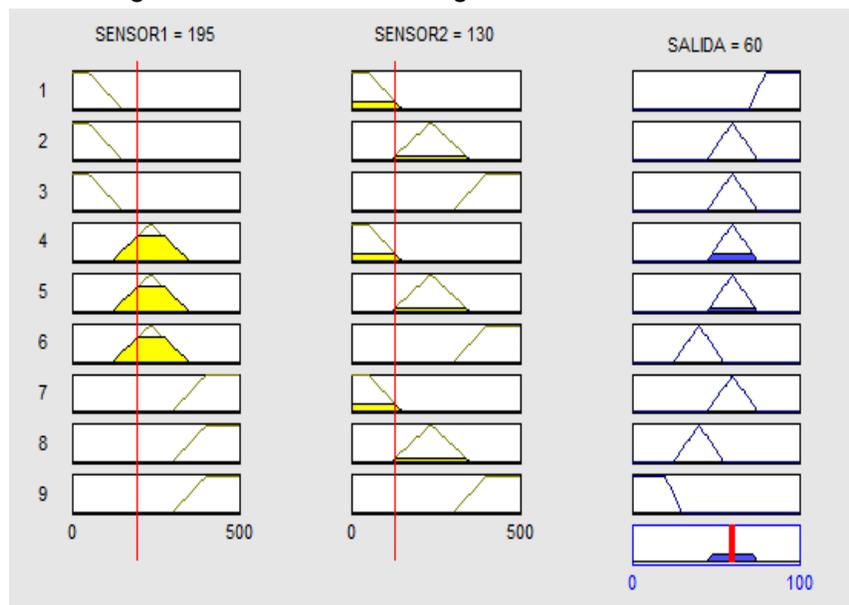


Fuente: *Fuzzy Logic Toolbox*

Para el controlador de iluminación se han tenido las mismas consideraciones que para el control de temperatura, ingresando datos que están en los rangos de medición hechos en el predio. Para la simulación del controlador, el software pide ingresar los datos de los sensores 1 y 2 de iluminación, para determinar la salida correspondiente a estos dos valores, los datos ingresados son:

Sensor 1: 195 Lux, Sensor 2: 130 Lux

Figura 82. Activación de reglas difusas, iluminación

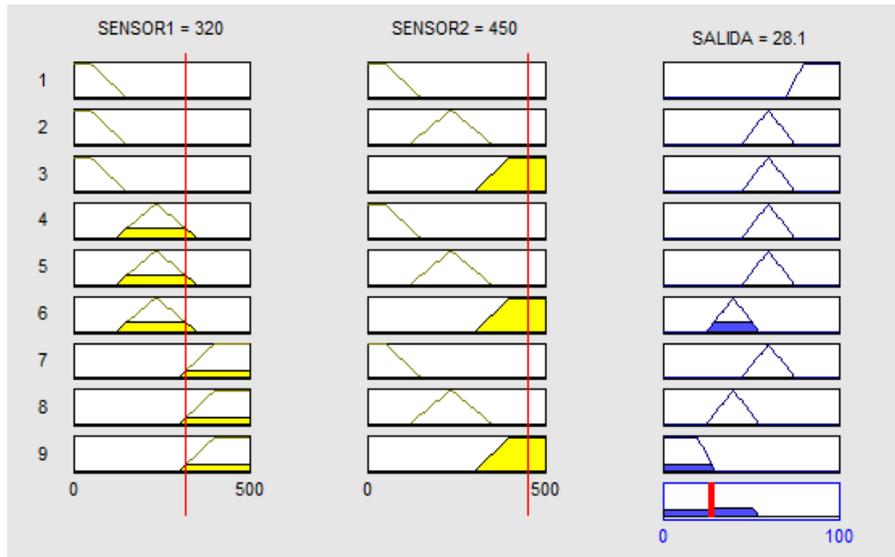


Fuente: *Fuzzy Logic Toolbox*

La segunda prueba se realizó con los siguientes valores:

Sensor 1: 320 Lux, Sensor 2: 450 Lux

Figura 83. Activación de reglas difusas, iluminación



Fuente: *Fuzzy Logic Toolbox*

Se puede observar el comportamiento de la red inteligente simulada en la plataforma Matlab, tras realizar las pruebas con los controladores de temperatura-humedad e iluminación; esta red tiende a modificar el valor de la variable controlada de tal forma que se acerca el valor que pertenece a los conjuntos óptimos descritos anteriormente, generando posteriormente una salida acorde a la compensación adecuada tras realizar el proceso entre conjuntos difusos.

## **6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **6.1 CONCLUSIONES**

En esta monografía se expuso el desarrollo de un prototipo de red inteligente basado en lógica difusa; este prototipo se destaca por ser escalable y adaptable a diversas variables presentes en un sistema inmótico proyectado para un edificio inteligente, para el cual se tomó como caso de estudio el diseño del edificio de ciencia y tecnología de Corporación Universitaria Autónoma del Cauca sede “El aljibe”

Del prototipo resultante se puede concluir que una red inteligente basada en lógica difusa, presenta ventajas frente a otro tipo de controladores puesto que este controlador permite la manipulación de variables de manera lingüística, permitiendo un mayor acercamiento al comportamiento y percepción de los seres humanos.

Las variables seleccionadas y modeladas para el escalamiento del sistema de la red inteligente, son variables presentes en sistemas que requieran la gestión y optimización de servicios disponibles dentro de un edificio para uso terciario o vivienda de uso residencial.

Como resultados del desarrollo de este proyecto, se obtiene la distribución de elementos primarios junto a la descripción funcional y los planos reales en cada una de las localías y espacios diseñados para proveer de capacidad instalada tanto administrativa como académica en el futuro edificio de ciencia y tecnología.

## **6.2 RECOMENDACIONES**

Tener en cuenta la distribución de elementos primarios para una futura implementación del sistema inmótico diseñado para el laboratorio de ciencia y tecnología sede “El aljibe” de la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca.

Escalar el modelo de red inteligente a las demás variables físicas presentes en el edificio, a partir del comportamiento y adquisición de datos que determinen los rangos de dichas variables dentro del predio.

Realizar un estudio para determinar el sistema de comunicaciones más adecuado para la implementación de la red inteligente, además de contemplar sistemas de integración hombre-máquina.

## BIBLIOGRAFÍA

- Amastegui, M. (2001). Apuntes de control PID. Recuperado de <http://www.info-transistor.info/biblioteca/Control%20Pid.pdf>
- Andrade, E. (2013). Estudio de los principales tipos de redes neuronales y las herramientas para su aplicación. (Trabajo de grado, Universidad Politécnica Salesiana). Recuperado de <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/4098/1/UPS-CT002584.pdf>
- Arciniegas, L. (2005). Criterios tecnológicos para el diseño de edificios inteligentes. Telematique, 4(2),27-43. Recuperado de <http://publicaciones.urbe.edu/index.php/telematique/article/viewArticle/801/1942>
- Asociación Española de Domótica – CEDOM. (2016). Que es Inmotica. Recuperado de <http://www.cedom.es/sobre-domotica/que-es-inmotica>
- Astrom, K. & Hagglund, T. (2009). Control PID Avanzado. [Traducido al español de PID CONTROLLERS: Theory, design and tuning]. España: Pearson. Recuperado de <http://universodelamecatronica.blogspot.com.co/2015/09/control-pid-avanzado-karl-j-astrom-y.html>
- Automatización Integral de Edificios. (2012) Recuperado de <http://isa.uniovi.es/docencia/AutomEdificios/transparencias/Generalidades2.pdf>
- Bluehome. (2016). Lo que hacemos. Recuperado de <http://www.bluehome.com.co/>
- Bouzas, M. (2005). Panorámica de los sistemas domóticos e inmóticos. (Trabajo de grado, Universidad de Sevilla). Recuperado de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11116/fichero/Volumen1%252FMEMORIA.pdf>
- Bravo, J., Ortega. & Verdejo. (2000). Planning in problema solving: A case study in domotics. 30 ASEE/IEEE Frontiers in education Conference, Kansas City, Missouri, E.U.
- CasaInteligente. (2016). Quienes somos. Recuperado de <http://casainteligente.com/>

- Cervantes, J. (2005). Representación y aprendizaje de conocimiento con redes de Petri difusas. (Trabajo de grado, Centro de investigación y de estudios avanzados del instituto Politécnico Nacional). Recuperado de <http://www.ctrl.cinvestav.mx/~yuw/pdf/MaTesCCJ.pdf>
- Chala, J. (2014). Estudio de factibilidad técnica para el diseño de un laboratorio de domótica en la facultad de educación técnica para el desarrollo. (Trabajo de grado, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil). Recuperado de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/1637/1/T-UCSG-PRE-TEC-IECA-9.pdf>
- Crespi, V., Galstyan, A. & Lerman, K. (2008). Top-Down vs Bottom-Up Methodologies in Multi-Agent System Design. *Autonomus Robotus*. Recuperado de <https://pdfs.semanticscholar.org/11f0/30d1d7524bed5630ceb6cfd8644c7d4b0c56.pdf>
- Cobos, M., Loayza, A. & Garay, F. (2006). Diseño inmotico para el ahorro energético, seguridad y control de las instalaciones para el nuevo edificio de la FIEC. (Trabajo de grado, Escuela Superior Politécnica del Litoral). Recuperado de [http://www.cib.espol.edu.ec/digipath/d\\_tesis\\_pdf/d-35310.pdf](http://www.cib.espol.edu.ec/digipath/d_tesis_pdf/d-35310.pdf)
- Diago, J. (2015). Otimização de controle de tráfico em grupo de elevadores com algoritmos bioinspirados. (Tesis de maestría, Universidad de Brasilia). Recuperado de <http://www.ppmec.unb.br/downloads/dissertacoes/88-2015.pdf>
- Domínguez, H. & Sáez, F. (2006). Domótica, un enfoque sociotecnico. Madrid: Fundación Rogelio Segovia para el Desarrollo de las Telecomunicaciones. Recuperado de [http://dit.upm.es/~fsaez/intl/libro\\_domotica.pdf](http://dit.upm.es/~fsaez/intl/libro_domotica.pdf)
- Fabara, C. (2008). Diseño y simulación del sistema inmotico del hospital un canto a la vida. (Trabajo de grado, Escuela politécnica del ejército). Recuperado de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/204/1/T-ESPE-019442.pdf>
- Fundación Privada Institut Idefons Cerda. (2000). Ahorro, confort, seguridad y comunicaciones, la vivienda domótica. Barcelona, España. Ministerio de industria y energía, Dirección General de Industrias y Tecnologías de la Información. Recuperado de

[http://www.ramonmillan.com/documentos/bibliografia/GuiaViviendaDomotica\\_InstitutCerde.pdf](http://www.ramonmillan.com/documentos/bibliografia/GuiaViviendaDomotica_InstitutCerde.pdf)

Fundación Privada Institut Ildelfons Cerda. (2001). Recomendaciones prácticas para instalaciones domóticas. Barcelona, España. Ministerio de industria y energía, Dirección General de Industrias y Tecnologías de la Información. Recuperado de [http://www.ramonmillan.com/documentos/bibliografia/RecomendacionesPracticasParaInstalacionesDomoticas\\_InstitutoCerde.pdf](http://www.ramonmillan.com/documentos/bibliografia/RecomendacionesPracticasParaInstalacionesDomoticas_InstitutoCerde.pdf)

García, D. (2010). Control ambiental psicométrico mediante lógica difusa. (Trabajo de grado, Universidad III de Madrid). Recuperado de [http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/10703/PFC\\_Daniel\\_Garcia\\_Arenas.pdf?sequence=1](http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/10703/PFC_Daniel_Garcia_Arenas.pdf?sequence=1)

Herrera, L. (2005). Viviendas Inteligentes (Domótica). Revista Ingeniería e investigación, 25(2), 47-53. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/iei/v25n2/v25n2a06.pdf>

Hinojosa, L. (2007). Tópicos Selectos de Fibra Óptica. (Trabajo de grado, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo). Recuperado de <http://www.uaeh.edu.mx/docencia/Tesis/icbi/licenciatura/documentos/Topicos%20selectos%20de%20fibra%20optica.pdf>

Homerobotik. (2016). Quienes somos. Recuperado de <http://www.homerobotik.com/content/nuestra-empresa>

Huidobro, J. & Millán, R. (2004). Domótica Edificios Inteligentes. Madrid, España: Creaciones Copyright.

Indomo. (2016). Quienes somos. Recuperado de <http://www.indomo.com.co/Quienes%20somos.html>

Jiménez, I. (2012). Control de temperatura de un horno eléctrico mediante lógica difusa. (Trabajo de grado, Universidad tecnológica de la Mixteca). Recuperado de [http://jupiter.utm.mx/~tesis\\_dig/11597.pdf](http://jupiter.utm.mx/~tesis_dig/11597.pdf)

Jiménez, L. (2000). Algunas aplicaciones de lógica difusa a teoría del control. (Tesis de maestría, Instituto Politécnico Nacional).

Lapine, P., Puschini, G., Wainerman, E., Crespo, A., Ballari, T., Molina. & Olsina, L. (2001). Una visión arquitectónica de sistema para aplicaciones en domótica. Congreso Argentino de Ciencias de la Computación, El Calafante, Argentina.

- Lara, H. (2011). Diseño y simulación de un controlador difuso con aplicación al ahorro de energía en centros de estudio y construcción de un prototipo. (Trabajo de maestría, Escuela Politécnica Nacional). Recuperado de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/7713/1/CD-4374.pdf>
- Manual del sistema S7-1200. (2009) Recuperado de <https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/Documents/S71200-MANUAL%20DEL%20SISTEMA.PDF>
- Martínez, V. (2010). Control difuso de un sistema de refrigeración para el hogar. (Trabajo de grado, Instituto Politécnico Nacional). Recuperado de <http://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/6543/1/CONTROLDIFUSO.pdf>
- Mendieta, J., Olarte, M. & Gonzales, H. (2012). Diseño de un sistema de control inteligente para un pasteurizador tipo túnel. *Prospectiva*, 10(2), 81-88. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4244296.pdf>
- Navarrete, J. (2005). Análisis de los sistemas de comunicación utilizados para la implementación de las aplicaciones de la domótica. (Trabajo de grado, Escuela Politécnica Nacional). Recuperado de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/5042/1/T2409.pdf>
- Pérez, M. & Urdiales, W. (2013). Estudio y diseño inmótico para el parque acuático Planeta Azul, usando la tecnología Lonworks para el control de iluminación, acceso, seguridad técnica y circuito cerrado de televisión. (Trabajo de grado, Universidad Politécnica Salesiana). Recuperado de <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/8561/1/UPS-CT004967.pdf>
- Ponce, P. (2010). Inteligencia artificial con aplicaciones a la ingeniería. México: Marcombo. Recuperado de: <https://lelinopontes.files.wordpress.com/2014/09/inteligencia-artificial-con-aplicaciones-a-la-ingenierc3ada.pdf>
- Porras, C. (2012). Estudio y diseño de un sistema inmotico para su aplicación en el edificio de Laboratorios de la Universidad Católica Andrés Bello. (Trabajo de grado, Universidad Católica Andrés Bello). Recuperado de

[http://biblioteca2.  
ucab.edu.ve/anexos/biblioteca/marc/texto/AAS3514.pdf](http://biblioteca2.ucab.edu.ve/anexos/biblioteca/marc/texto/AAS3514.pdf)

Ramírez, V. (2012). Sistema electrónico aplicado a domótica. (Trabajo de grado, Universidad de Sonora).

Real Academia Española. (2003). Diccionario de la Real Academia Española. Recuperado de <http://www.rae.es/>

Refugio, J. (2003). Diseño de un gestor de redes de Petri. (Tesis de maestría, Universidad de Colima). Recuperado de [http://digeset.ucol.mx/tesis\\_posgrado/Pdf/Jose%20Refugio%20Martinez%20Reyes.pdf](http://digeset.ucol.mx/tesis_posgrado/Pdf/Jose%20Refugio%20Martinez%20Reyes.pdf)

Roel, V. (1998). La tercera revolución industrial y la era del conocimiento. Recuperado de <http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/libros/historia/tercerarevoluc/indic.e.htm>

Romero, C., Vásquez, F. & Castro, C. (2011). Domótica e Inmótica: Viviendas y Edificios Inteligentes. Madrid, España: Alfaomega.

Santos, M. (2011). Un enfoque aplicado del control inteligente. Revista iberoamericana de automática e informática industrial, 8,283-296. Recuperado de <http://www.elsevier.es/es-revista-revista-iberoamericana-automatica-e-informatica-331-articulo-un-enfoque-aplicado-del-control-S1697791211000501?redirectNew=true>

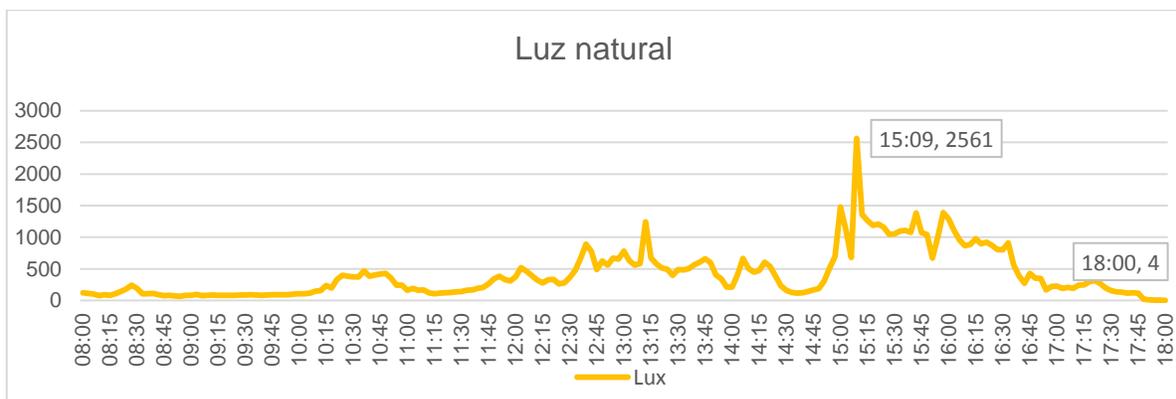
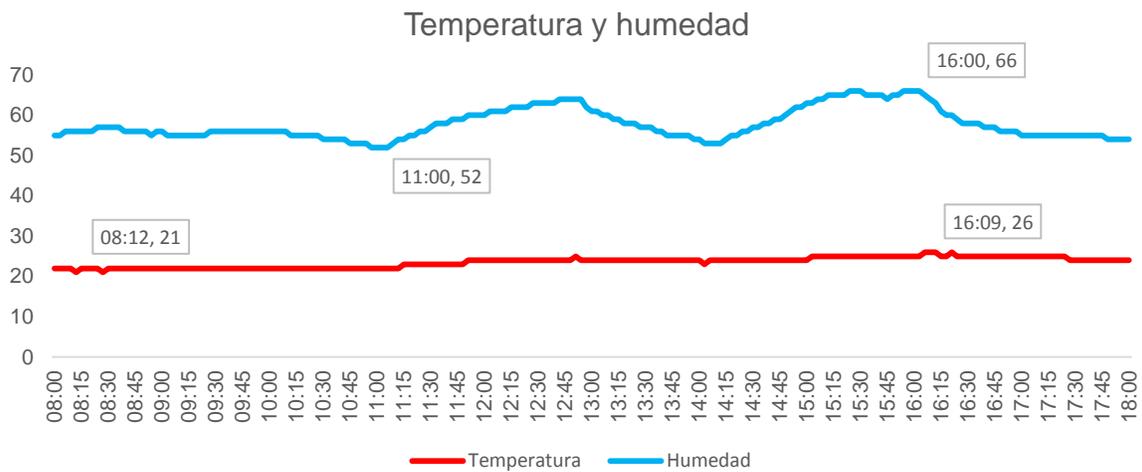
Zi-Xing. (1997). Intelligent Control: Principles, Techniques and Applications. Recuperado de <https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=08RvSQqTxU0C&oi=fnd&pg=PR7&dq=Zi-Xing+Cai+,%E2%80%99Intelligent+Control:+Principles,+Techniques+and+Applications+,World+Scientific,+1997&ots=crmOG3icXZ&sig=PoUoY6bowwnHia0ThZwN8n4GyHk#v=onepage&q=Zi-Xing%20Cai%20%E2%80%99Intelligent%20Control%3A%20Principles%20Techniques%20and%20Applications%20%2CWorld%20Scientific%201997&f=false>

# ANEXO A

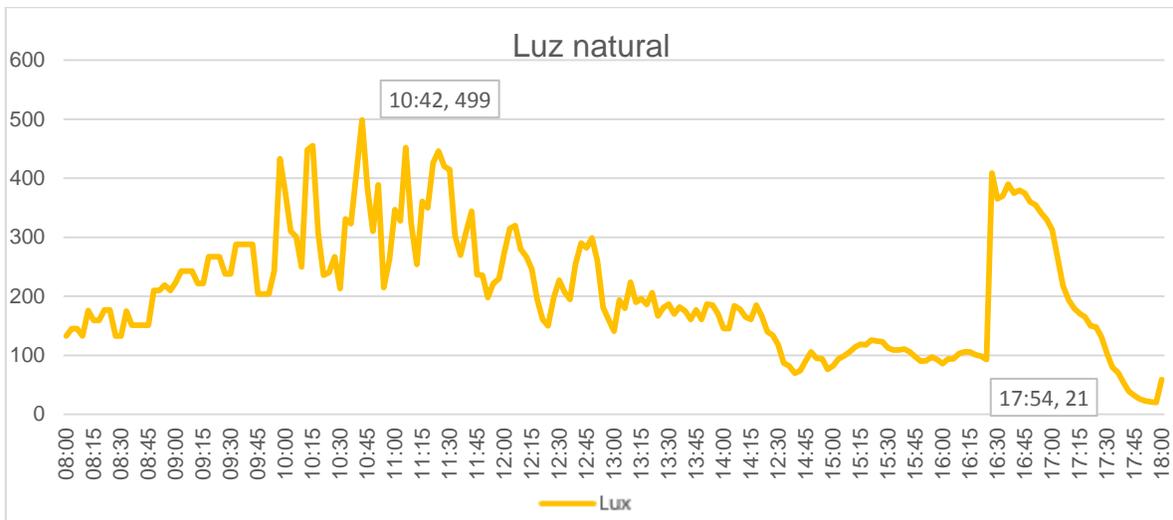
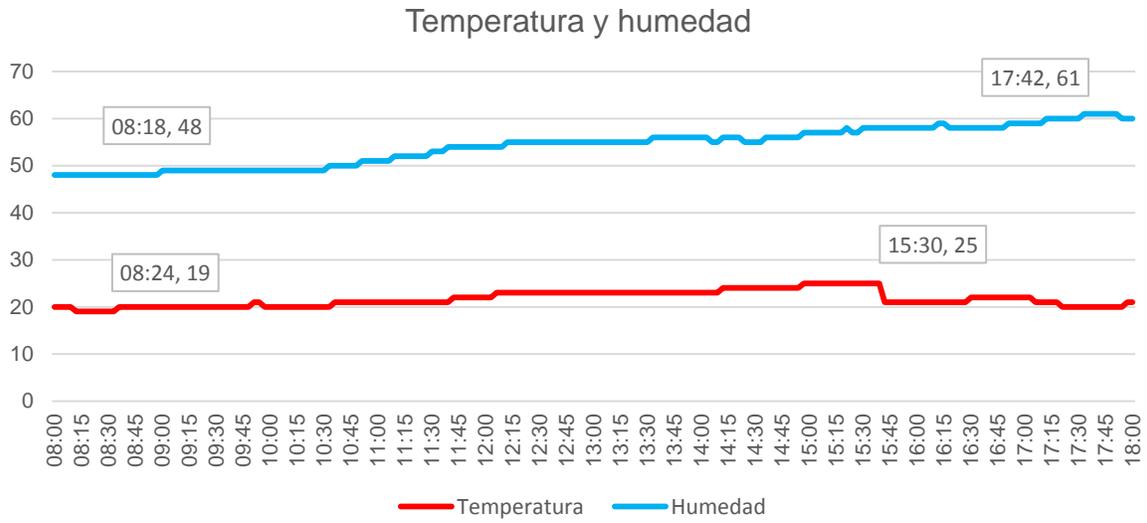
## COMPORTAMIENTO DE LAS VARIABLES DE TEMPERATURA- HUMEDAD E ILUMINACIÓN

A continuación, se ilustran el comportamiento de las variables de temperatura, humedad e iluminación, en tres días diferentes.

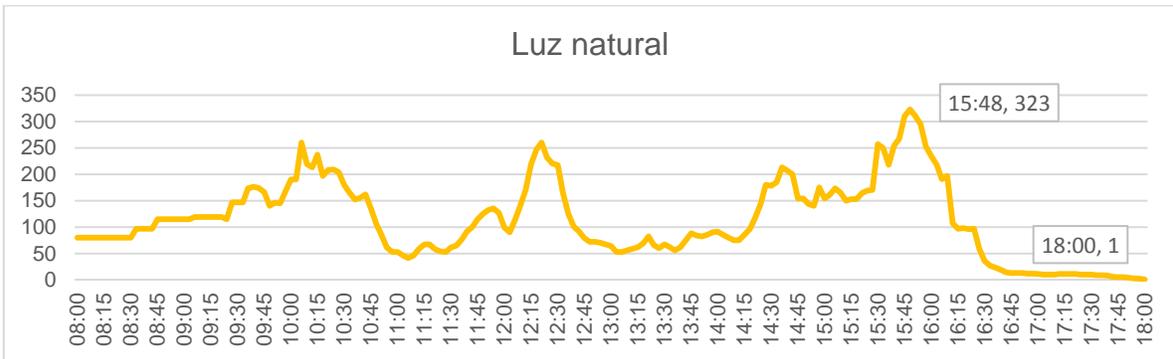
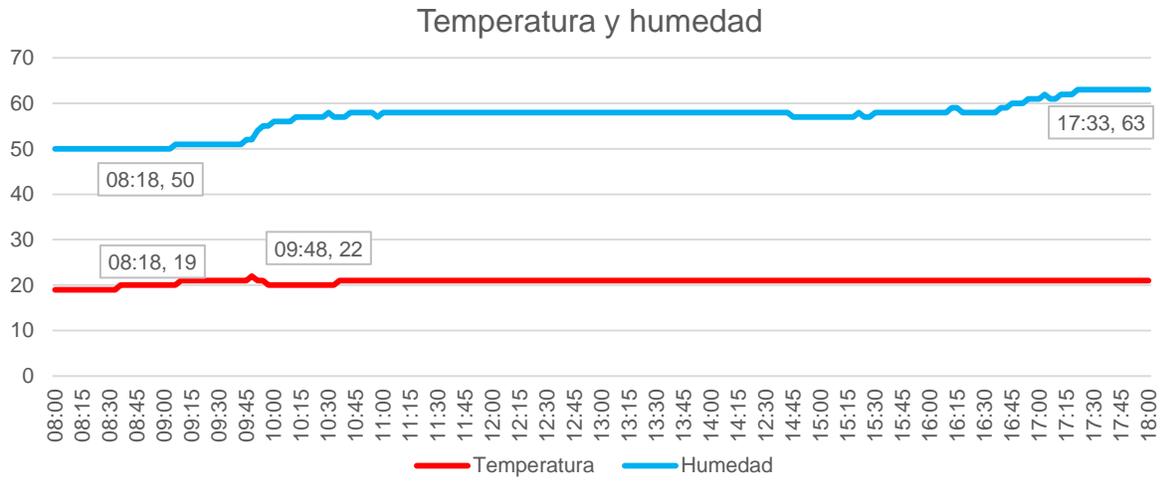
### Día 1



## Día 2



### Día 3



## ANEXO B

### CÓDIGOS DE CONTROLADORES DIFUSOS

A continuación, se incluyen los códigos de iluminación, temperatura y humedad, que permiten la integración del diseño difuso realizado con el *Toolbox Fuzzy*.

```
    % CODIGO CONTROL DIFUSO PARA TEMPERATURA-HUMEDAD

a=input ('TEMPERATURA: '); %% Permite ingresar el valor de temperatura del predio
b=input ('HUMEDAD: '); %% Permite ingresar el valor de humedad del Predio

open_system ('sim_fuzzy_TH.mdl'); %% Función que llama el archivo simulink donde
están los bloques

DAT_TH= [0 a b]; %% Guarda en DAT_TH los valores de temperatura y humedad

sim('sim_fuzzy_TH.mdl'); %% Ejecuta las reglas de inferencia y arroja la salida
correspondiente

SALIDA_TEMP_HUM =mean(Salida_TH) %% Imprime el valor de la salida
```

```
    % CODIGO CONTROL DIFUSO ILUMINACION

a=input ('SENSOR 1: '); %% Se ingresa el valor de iluminación sensor 1
b=input ('SENSOR 2: '); %% Se ingresa el valor de iluminación sensor 2

open_system ('sim_fuzzy_IL.mdl'); %% Función que llama el archivo simulink donde
están los bloques

DAT_IL= [0 a b]; %% Guarda en DAT_IL los valores laidos de sensor 1 y sensor 2

sim('sim_fuzzy_IL.mdl'); %% Ejecuta las reglas de inferencia y arroja la salida
correspondiente

SALIDA_ILUMINACION =mean(Salida_IL) %% Imprime el valor de la salida
```