

**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

TEMA:

Automatización de un invernadero urbano para la producción de
hortalizas utilizando microcontroladores

AUTOR:

Mosquera Freire, Jorge Manuel

Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del título de
INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

TUTOR:

M. Sc. Mendoza Merchán, Eduardo Vicente

Guayaquil, Ecuador

3 de marzo del 2022



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por el Sr. **Mosquera Freire, Jorge Manuel**, como requerimiento para la obtención del título de **INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**

TUTOR

M. Sc. Mendoza Merchán, Eduardo Vicente

DIRECTOR DE LA CARRERA

M. Sc. Heras Sánchez, Miguel Armando

Guayaquil, a los 3 días del mes de marzo del año 2022



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, Mosquera Freire, Jorge Manuel

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, “**Automatización de un invernadero urbano para la producción de hortalizas utilizando microcontroladores**” previo a la obtención del título de **Ingeniero en Electrónica y Automatización**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

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

Guayaquil, a los 3 días del mes de marzo del año 2022

EL AUTOR

MOSQUERA FREIRE, JORGE MANUEL



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

AUTORIZACIÓN

Yo, **Mosquera Freire, Jorge Manuel**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, “**Automatización de un invernadero urbano para la producción de hortalizas utilizando microcontroladores**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 3 días del mes de marzo del año 2022

EL AUTOR:

MOSQUERA FREIRE, JORGE MANUEL

REVISIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN CON PROGRAMA URKUND

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

TÍTULO: Automatización de un invernadero urbano para la producción de hortalizas utilizando microcontroladores.

AUTOR: MOSQUERA FREIRE JORGE MANUEL



Document Information

Analyzed document	2022-02-16 Proyecto curricular Mosquera Freire.docx (D128048922)
Submitted	2022-02-16T19:01:00.0000000
Submitted by	
Submitter email	eduardo.mendoza01@cu.ucsg.edu.ec
Similarity	0%
Analysis address	eduardo.mendoza01.ucsg@analysis.arkund.com

Sources included in the report

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

A handwritten signature in blue ink, enclosed in a blue oval. The signature appears to read "Eduardo Mendoza Merchán". There are some scribbles and lines around the signature.

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

DOCENTE TUTOR

AGRADECIMIENTO

A Dios por haberme guiado hasta este punto de mi vida y por permitirme alcanzar las metas que me he propuesto.

A mi familia que siempre ha estado a mi lado, por su amor incondicional y por haberme inculcado los valores que me han formado como persona de bien.

A mis profesores de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo, por compartirme sus conocimientos y brindarnos su ayuda siempre que fue necesaria; a mis amigos que conocí en la universidad, con quienes he compartido durante todos estos años.

A mi tutor, Ing. Eduardo Mendoza, por toda la ayuda brindada durante el desarrollo de este trabajo de investigación, por brindarme tiempo y conocimiento sin los cuales este trabajo no hubiese sido posible.

Gracias infinitas a todos.

Jorge Mosquera Freire

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico a mis padres, Jorge y Nancy, a mi hermana Ariana y a mi abuelita Luzmila por brindarme su amor y apoyo incondicional, quienes han sido pilar fundamental en mi vida y gracias a ello he crecido como persona y estoy cumpliendo una de mis metas propuestas.

A todas las personas que forman parte mi vida y me han acompañado constantemente.

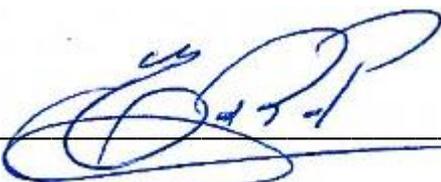
Jorge Mosquera Freire



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. 
M. Sc. ROMERO PAZ, MANUEL DE JESÚS

DECANO

f. 
M. Sc. PALACIOS MELÉNDEZ, EDWIN FERNANDO

COORDINADOR DEL ÁREA

f. 
M. Sc. CÓRDOVA RIVADENEIRA, LUIS SILVIO

OPONENTE

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN	2
CAPÍTULO I: CONSIDERACIONES GENERALES	4
1.1. Problema de investigación	4
1.2. Justificación	4
1.3. Delimitación.....	5
1.4. Objetivos	5
1.4.1. Objetivo general.....	5
1.4.2. Objetivos específicos	5
1.5. Hipótesis	6
1.6. Metodología de la investigación	6
1.7. Tareas de investigación.....	7
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	8
2.1. Estado del arte.....	8
2.2. Sistemas de control y automatización	13
2.2.1. Control en lazo abierto	13
2.2.2. Control en lazo cerrado	13
2.2.3. Elementos de un sistema de control	14
2.3. Sensores y actuadores para invernaderos urbanos	16
2.3.1. Sensor de pH.....	16
2.3.2. Sensor de temperatura.....	17
2.3.3. Sensor de humedad	18
2.3.4. Electroválvulas.....	18
2.3.5. Electrobombas.....	19
2.4. Modelado con UML.....	20
2.4.1. Diagramas de casos de uso.....	20
2.4.2. Diagramas de secuencias	21
2.4.3. Diagramas de estados.....	22
2.5. Modelado con redes de Petri.....	23
2.5.1. Semántica de las redes de Petri	24
2.5.2. Propiedades de las Redes de Petri.....	25
2.5.2.1. Vivacidad	25
2.5.2.2. Limitabilidad.....	25

2.5.2.3.	Conforme	26
2.6.	Invernaderos urbanos	26
2.6.1.	Objetivos de un invernadero urbano	27
2.6.2.	Protección de cultivos	27
2.6.3.	Principales tipos de invernaderos.....	28
2.6.3.1.	Tipo plano	28
2.6.3.2.	Tipo capilla	28
2.6.3.3.	Tipo gótico	29
2.6.3.4.	Tipo túnel.....	30
2.6.3.5.	Tipo asimétrico	30
2.6.4.	Materiales empleados en las estructuras de invernaderos	30
2.6.5.	Requerimientos para el cultivo de rábano (<i>Raphanus sativus</i>)	31
CAPÍTULO III: DISEÑO DEL INVERNADERO URBANO.....		32
3.1.	Consideraciones iniciales de diseño.....	32
3.1.1.	Descripción	32
3.1.2.	Caracterización.....	33
3.1.3.	Requisitos funcionales	36
3.1.3.1.	Funciones principales.....	36
3.1.3.2.	Funciones secundarias.....	37
3.2.	Arquitectura del sistema.....	37
3.2.1.	Arquitectura de automatización	37
3.2.2.	Red de comunicaciones.....	38
3.2.3.	Arquitectura hardware.....	39
3.3.	Modelado del sistema	39
3.3.1.	Modelado UML.....	39
3.3.1.1.	Diagramas de casos de uso.....	39
3.3.1.2.	Diagramas de secuencia	41
3.3.1.3.	Diagramas de estados.....	43
3.4.	Redes de Petri	43
3.4.1.	Matrices y evaluaciones de la RdP.....	45
3.4.1.1.	Matriz de Inhibición.....	45
3.4.1.2.	Matriz de marcado	46
3.4.1.3.	Transiciones habilitadas	47
3.4.1.4.	Análisis de espacio de estados	47
3.5.	Análisis para la implementación del sistema	47
3.5.1.	Subsistema de detección del fluido del reservorio.....	49

3.5.1.1.	Diagrama de flujo del sensor de nivel del reservorio	50
3.5.2.	Subsistema de ingreso de parámetros de medición	51
3.5.3.	Subsistema de detección de parámetros del sistema	53
3.5.3.1.	Diagrama de flujo del sensor de temperatura	54
3.5.3.2.	Diagrama de flujo del sensor humedad relativa	54
3.5.3.3.	Diagrama de flujo del sensor de pH	55
3.6.	Análisis del funcionamiento del sistema	56
3.7.	Evaluación del sistema	57
3.7.1.	Red limitada	57
3.7.2.	Red binaria	58
3.7.3.	Vivacidad	59
3.7.4.	Red conforme	59
3.7.5.	Red conservativa	60
3.7.6.	Red interpretada	60
3.7.7.	Reversibilidad	60
3.7.8.	Alcanzabilidad	61
CAPÍTULO IV: PRESENTACIÓN DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN		62
4.1.	Presentación de resultados	62
4.1.1.	Resultados del estado del arte	62
4.1.2.	Resultados de las arquitecturas	63
4.1.3.	Resultados del modelado UML	63
4.1.4.	Resultados del modelado de la RdP	64
4.1.5.	Resultados de la implementación	64
4.2.	Discusión de resultados	65
4.2.1.	Discusión del cumplimiento de los requisitos funcionales	65
4.2.2.	Análisis de la hipótesis	66
4.2.3.	Análisis del cumplimiento de los objetivos	67
4.2.4.	Solución al problema de investigación	68
4.2.5.	Aporte del sistema propuesto	68
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		70
5.1.	Conclusiones	70
5.2.	Recomendaciones	71
5.3.	Trabajo futuro	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama de un Sistema de Control en lazo Abierto	13
Figura 2: Diagrama de un Sistema de Control en Lazo Cerrado	14
Figura 3: Elementos de un Sistema de Control en Lazo Cerrado	15
Figura 4: Sensor de pH.....	17
Figura 5: Campo de Medida de Instrumentos para la Medición de Temperatura.....	17
Figura 6: Sensor de Humedad de Suelo	18
Figura 7: Válvula Solenoide Típica	19
Figura 8: Electrobomba en un Sistema de Control Hidráulico	19
Figura 9: Diagrama de Casos de Uso	21
Figura 10: Ejemplo de un Diagrama de Secuencias.....	22
Figura 11: Ejemplo de un Diagrama de Estados	23
Figura 12: Lugar, Arco y Transición de una Red de Petri	24
Figura 13: Ejemplo de una Red de Petri	25
Figura 14: Invernadero Dedicado a la Producción de Plantas Ornamentales	26
Figura 15: Protección para Cultivos - Túnel alto	28
Figura 16: Invernadero de Tipo Plano	28
Figura 17: Invernadero de Tipo Capilla.....	29
Figura 18: Invernadero de Tipo Gótico.....	29
Figura 19: Invernadero de Tipo Túnel	30
Figura 20: Invernadero de Tipo Asimétrico.....	30
Figura 21: Diagrama de Flujo del Sistema.....	33
Figura 22: Estructura del Invernadero.....	34
Figura 23: Cajón de Cultivo.....	34
Figura 24: Arquitectura de Automatización.....	38
Figura 25: Red de Comunicaciones	38

Figura 26: Arquitectura Hardware del Sistema.....	39
Figura 27: Diagrama de Casos de Uso del Sistema	41
Figura 28: Diagrama de Secuencias del Sistema	42
Figura 29: Diagrama de Estados del Sistema.....	43
Figura 30: RdP del Sistema.....	44
Figura 31: Matriz de Inhibición H	46
Figura 32: Matriz de Marcado de la RdP	46
Figura 33: Matriz de Marcado al Simular Perturbaciones en la RdP.....	46
Figura 34: Transiciones Habilitadas de la RdP	47
Figura 35: Análisis de Espacio de Datos de la RdP.....	47
Figura 36: Diagrama del Sistema General	49
Figura 37: Diagrama del 1er Subsistema	50
Figura 38: Diagrama de flujo del Sensor de Nivel del Reservorio	51
Figura 39: Diagrama del 2do Subsistema	52
Figura 40: Diagrama del 3er Subsistema	53
Figura 41: Diagrama de Flujo del Sensor de Temperatura	54
Figura 42: Diagrama de Flujo del Sensor de H.R	55
Figura 43: Diagrama de Flujo del Sensor de pH.....	56
Figura 44: Simulación de la RdP	58
Figura 45: Transiciones de la RdP	59

RESUMEN

El presente trabajo de integración curricular se basa en el desarrollo de un sistema automatizado basado en microcontroladores, enfocado al control de un invernadero urbano. Este sistema busca ofrecer ahorro de recurso, facilidad de uso y robustez, mediante el cual se garantice un entorno controlado que pueda mejorar la eficiencia del invernadero en comparación con los de tipo convencional. El sistema consta de dispositivos electrónicos tales como sensores y actuadores que logran medir las variables del sistema y ejecutar acciones de control en el caso de que sea necesario respectivamente. Para la proyección, modelado y verificación del sistema se recurre a herramientas como diagramas de lenguaje unificado de modelado y redes de Petri, las cuales poseen propiedades que permiten el análisis exhaustivo para verificar si el sistema satisface los requisitos funcionales propuestos. La elaboración de diagramas de flujo referentes a los subsistemas del sistema general permite definir de manera detallada los procesos que los conforman. Mediante la discusión y análisis de los resultados obtenidos, se concluye que el sistema propuesto cumple de manera satisfactoria con los objetivos definidos.

Palabras claves: microcontroladores, arquitecturas de automatización, modelado UML, redes de Petri, invernaderos urbanos, sistemas de control.

ABSTRACT

This curricular integration work is based on the development of an automated system based on microcontrollers, focused on the control of an urban greenhouse. This system wants to offer resource savings, ease of use and robustness, through which a controlled environment is guaranteed that can improve the efficiency of the greenhouse compared to conventional types. The system consists of electronic devices such as sensors and actuators that manage to measure the system variables and execute control actions, if necessary, respectively. For the projection, modeling and verification of the system, tools such as unified modeling language diagrams and Petri nets are used, which have properties that allow exhaustive analysis to verify if the system meets the proposed functional requirements. The elaboration of flow diagrams of reference to the subsystems of the general system, allows to define in detail the processes that are part of them. Through the discussion and analysis of the results obtained, it is concluded that the proposed system satisfactorily meets the defined objectives.

Keywords: microcontrollers, automation architectures, UML modeling, Petri nets, urban greenhouses, control systems.

INTRODUCCIÓN

La agricultura ha sido parte esencial para el desarrollo del ser humano desde los inicios de este; teniendo gran influencia en la sociedad tal como se la conoce hoy en día. En los últimos debido al aumento de la migración interna y la sobrepoblación, se ha recurrido a una agricultura que sólo busca cumplir con las necesidades de la población, sin tener en cuenta en cómo afecta al medio ambiente o a la salud de las personas. Gracias al constante desarrollo tecnológico, surgen nuevas alternativas para solventar situaciones problemáticas que forman parte del día a día. La implementación de dispositivos electrónicos en la cotidianeidad es evidente y ya forma parte del entorno en el que se desarrolla la sociedad, por lo que se debe aprovechar las facilidades tecnológicas que se tiene, con el fin de proveer una mejor calidad de vida.

Los invernaderos son una herramienta muy importante en la agricultura, ya que protegen a los cultivos de situaciones externas, como climas extremos, plagas, etc. Sin embargo, no se encuentran al alcance de todas las personas, ya que generalmente estos ocupan grandes cantidades de espacio y requieren de una inversión económica alta y de personal de mantenimiento. Mediante la ingeniería se puede encontrar una solución viable a los problemas mencionados anteriormente, se logra diseñar un invernadero que se encuentre al alcance de la población y que no ocupe grandes áreas o requiera de grandes cantidades de dinero para su implementación. Gracias al uso de microcontroladores y dispositivos como sensores, se puede desarrollar un invernadero urbano automatizado, el cual no requiera de la presencia permanente de un operario para garantizar el correcto funcionamiento de este.

El presente trabajo de investigación busca brindar un sistema de control para un invernadero urbano, el cual permita mejorar la eficiencia de este y obtener productos de alta calidad. De esta manera se pretende brindar un sistema que sea de beneficio para la población y que puede servir de punto de partida para futuros trabajos. El desarrollo de la investigación, plasmada en el presente documento ha sido dividida en cuatro capítulos que se describen en los siguientes párrafos.

El primer capítulo consiste en las consideraciones generales del sistema, es decir que se define puntos de interés tales como el planteamiento del problema, en el cual se plantea la falta diseños de sistemas automatizados para invernaderos urbanos; además de plantear como objetivos de la investigación, la busca de un control

automático que mejore la eficiencia de este, y también modelar la arquitectura del propio sistema.

El segundo capítulo está formado por la elaboración del estado del arte en el cual se analizan documentos académicos relacionados con el tema de estudio, y de esta manera recaudar datos e información con respecto a trabajos ya realizados que serán el punto de partida para la elaboración del sistema. Además, se realiza un breve marco teórico que será el fundamento de la elaboración los capítulos posteriores.

El diseño del invernadero urbano se trata en el tercer capítulo, donde se realiza la descripción del sistema, se definen los requisitos funcionales de este y además se elaboran las arquitecturas que permitirán tener una idea sobre la disposición y comunicación de los elementos que forman parte del invernadero. De igual manera se desarrollan los diagramas de lenguaje unificado de modelado y las redes de petri, a través de las cuales se realiza el análisis de la implementación del sistema.

En el cuarto capítulo se realiza la presentación de resultados y la discusión de estos, para de esta manera evaluar si lo obtenido en capítulos anteriores cumplen con los objetivos planteados y si se considera como una solución al problema de investigación.

Por último, en el quinto capítulo se presentan las conclusiones obtenidas a partir del análisis de resultados, entre las cuales se encuentran la funcionalidad tanto del lenguaje de modelado unificado y las redes de petri, y el ahorro que ofrece un sistema de riego por goteo automatizado; y además se plantean las recomendaciones pertinentes.

Se invita a la lectura completa del trabajo presente, ya que se considera que es de suma importancia para la sociedad, y sirve para demostrar la eficacia de los sistemas automatizados en la actualidad.

CAPÍTULO I

CONSIDERACIONES GENERALES

1.1. Problema de investigación

Los cultivos o invernaderos urbanos son una alternativa viable para adquirir productos agrícolas a nivel doméstico y de manera relativamente sencilla. A pesar de que el diseño de este tipo de invernaderos es dirigido hacia personas que viven en las grandes urbes, siguen siendo sistemas que requieren de la presencia de alguna persona que verifique y dé el mantenimiento adecuado a los cultivos, por lo que la falta de tiempo viene a ser uno de los principales factores que conducen a que las plantas se marchiten y mueran (Icaza Guamba & Navarrete Pinto, 2021), además de que si no se encuentra optimizado adecuadamente, existirá desperdicio de productos y recursos energéticos. La falta de conocimiento para diseñar un invernadero con las condiciones adecuadas como el sistema de riego, pH, temperatura, entre otros; además de que son variables que pueden cambiar repentinamente debido al clima; conlleva a invernaderos ineficientes que no cumplen con el objetivo deseado, contemplando que las técnicas de riego que se usan habitualmente desperdician en demasía recursos hídricos (Cortes Cadavid & Vargas García, 2021).

Teniendo en cuenta las problemáticas mencionadas y en base a lo analizado en este acápite, se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿En qué medida puede mejorar la eficiencia de los procesos y los productos en los invernaderos urbanos a través de la automatización del sistema?

1.2. Justificación

El acelerado desarrollo tecnológico en varias ramas del saber ha permitido encontrar nuevas y mejores maneras de realizar tareas cotidianas. La importancia de encontrar una alternativa para incrementar la eficiencia de los invernaderos urbanos radica en la importancia de estos. En la actualidad, el aumento de la migración interna en nuestro país es tal, que es evidente el abandono de las zonas agrícolas y rurales de las principales ciudades. Por lo que, el diseño de un invernadero urbano automatizado permite solventar de manera adecuada y sostenible la problemática presentada previamente. Existen varias opciones al momento de controlar y automatizar un

proceso, por lo que la búsqueda de una alternativa de bajo costo es fundamental para el desarrollo de este proyecto, sin dejar de lado la robustez y confiabilidad de este (Morais et al., 2021). Sin hacer caso omiso a la importancia de desarrollar un sistema que utilice la mínima cantidad de recursos, ya sea energéticos o hídricos; aportando positivamente con el medio ambiente.

1.3. Delimitación

Considerando las posibilidades que ofrece el control y automatismo, en este proyecto se tomará en cuenta otorgar un sistema eficiente y funcional. Haciendo uso de dispositivos adecuados para el diseño de un invernadero urbano de bajo presupuesto, dirigido hacia las personas que habitan en grandes ciudades, y que, por diversos factores, no cuentan con el tiempo requerido para cuidar y mantener cultivos en sus hogares. Dada la situación actual generada por la pandemia y que impide el uso de los laboratorios de la Universidad, genera inconvenientes para el desarrollo o implementación de un sistema físico, por lo que, debido a estas circunstancias, se prevé solo el diseño del invernadero urbano y para evaluar su funcionalidad y la verificación de las propiedades, se hace uso de herramientas matemáticas y gráficas que permitan determinar o verificar el cumplimiento de los requisitos funcionales.

1.4. Objetivos

En base a lo planteado previamente, se propone los siguientes objetivos con el fin de alcanzar el pleno desarrollo del proyecto presente.

1.4.1. Objetivo general

Proyectar un sistema de control automatizado en base a la utilización de microcontroladores y dispositivos electrónicos que permitan incrementar la producción de un invernadero urbano y minimizar el consumo de recursos.

1.4.2. Objetivos específicos

- Diseñar un sistema de control, con el fin de obtener un proceso automatizado que mejore la eficiencia de un invernadero urbano.
- Modelar la arquitectura de un sistema de control que cumpla con los requerimientos de un invernadero urbano.

- Evaluar el funcionamiento del sistema automatizado considerando las ventajas que ofrece la automatización del sistema

1.5. Hipótesis

La implementación y el uso de la automatización brinda alternativas para mejorar sistemas ya existentes. Por medio de microcontroladores se pretende brindar las condiciones óptimas para el crecimiento y desarrollo de las plantas de un invernadero urbano, es decir obtener un ambiente controlado que garantice adquirir productos de alta calidad.

De igual manera, la implementación de dispositivos electrónicos como sensores y actuadores permite adquirir datos e información del medio en el que se encuentra el invernadero, temperatura, humedad, pH, entre otros; y así, en base a acciones determinadas previamente en el microcontrolador, se realicen acciones que otorguen el ambiente adecuado para este. A su vez, se desea que el sistema de control permita disminuir el uso de recursos hídricos a través de un sistema de riego, que no necesite de la presencia constante de una persona a cargo. En base a lo analizado se plantea la siguiente hipótesis:

La automatización de un invernadero urbano permite reducir el consumo de recursos hídricos en al menos un 20% en comparación a uno tradicional, además de aumentar la eficiencia y calidad de los productos.

1.6. Metodología de la investigación

El planteamiento de un sistema automatizado empleado en proyectos agrícolas tales como un invernadero urbano, es un asunto de gran relevancia en la actualidad por lo que es objetivo de estudios e investigaciones, ya que se busca aumentar el rendimiento y la eficiencia de este a través de la estrategia anteriormente mencionada. Por lo tanto, la presente investigación corresponde a un estudio de tipo correlacional, que facilita el análisis de las relaciones entre las diferentes variables del sistema. El enfoque del estudio es cuantitativo, debido a que conlleva a la adquisición y análisis de datos e información obtenidos del sistema para lograr un mejor funcionamiento, los cuales son cuantificables. Los métodos de investigación que se utilizarán son: Método de investigación: análisis-síntesis, modelado, simulación. El método de análisis-síntesis se lo ha propuesto debido a que se tomará en cuenta trabajos académicos relacionados similares con el fin de obtener los suficientes fundamentos teóricos y

datos técnicos referentes al tema; además, se ha propuesto el método de modelado ya que existen herramientas gráficas y matemáticas, mediante las cuales se puede describir el funcionamiento de un sistema a gran detalle, por lo que la aplicación de estas será de gran ayuda para describir el proyecto presente. El método de simulación se ha propuesto debido a la existencia de softwares de simulación que permiten analizar el comportamiento del sistema bajo cualquier tipo de perturbación y demás variables.

1.7. Tareas de investigación

Con respecto a lo mencionado anteriormente, se ha definido las siguientes tareas que formarán parte del proceso y desarrollo del proyecto en cuestión:

- Definir el problema a investigar a través del análisis bibliográfico
- Investigar información asociada al tópico del proyecto en revistas académicas, artículos científicos y demás fuentes de conocimiento
- Determinar las variables presentes en el sistema para su posterior control
- Describir, caracterizar y establecer los requisitos funcionales del sistema
- Establecer una arquitectura de automatización del sistema
- Seleccionar los sensores, actuadores y periféricos en base a su funcionamiento y confiabilidad
- Diseñar el sistema de control de un invernadero urbano
- Desarrollo de la programación del microcontrolador seleccionado
- Modelar el sistema utilizando el lenguaje unificado de modelado
- Verificar el correcto funcionamiento del sistema a través de herramientas gráficas y matemáticas
- Estimar un presupuesto de gastos en caso de implementación del proyecto
- Analizar los resultados obtenidos
- Establecer conclusiones y recomendaciones para trabajos futuros

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Estado del arte

Antes de realizar cualquier proyecto o sistema, es de carácter fundamental analizar las investigaciones realizadas en torno al área que se va a tratar; para de esta manera conocer los avances existentes y qué se puede implementar para mejorarlos. El siguiente proyecto propone un diseño para automatizar los procesos presentes en un huerto hidropónico en la ciudad de Guayaquil, haciendo uso de herramientas y dispositivos tecnológicos.

El diseño de huertos sostenibles incrementa considerablemente con el paso de los años, ya que permite obtener alimentos específicos, fuera de la temporada adecuada para su correcto desarrollo. Mediante dichos dispositivos tecnológicos, se puede controlar la circulación del agua y demás factores presentes en el proceso, a través de un sistema de monitoreo inalámbrico. Mediante el estudio de fundamentos teórico-prácticos de proyectos y artículos referentes al tema se logró diseñar un sistema eficiente que cumple con su finalidad a cabalidad.

El uso de microcontroladores es una alternativa eficaz para automatizar procesos similares al presentado, además de que, mediante el sistema de monitoreo, se logra minimizar la intervención humana, lo que conlleva a costos menores. Se concluyó que el desarrollo del sistema automatizado y de adquisición de datos, cumple con los requerimientos y se ajusta a las exigencias presentes en el ámbito de la agricultura; por lo que, se puede aumentar la eficiencia y calidad de productos, por medio del uso de microcontroladores (Chacón Becerra & Tigse Lara, 2017).

El diseño de huertos urbanos ha aumentado drásticamente en la actualidad, debido a la facilidad que brinda a las personas de obtener productos de manera sostenible, desde la comodidad del hogar. De igual manera, implementar un sistema con la capacidad de almacenar datos mediante IOT, es un requerimiento que permite ofrecer un sistema o proceso que cumpla con las necesidades tecnológicas de la actualidad. La tecnología usada de la manera adecuada permite minimizar el impacto

en el ambiente, sin poner en riesgo la calidad de un producto. El proyecto presentado diseña un sistema automatizado de riego en un huerto urbano, tipo invernadero; tomando en cuenta factores ambientales que pueden perturbar el funcionamiento correcto del mismo.

El IOT da la facilidad de recopilar datos, para posteriormente analizarlos con el fin de optimizar el sistema hasta alcanzar una eficiencia y calidad de alto nivel. La ejecución del proyecto proporcionó un sistema automatizado que solventa las necesidades presentadas, con un monitoreo constante de las variables presentes en el proceso, además de garantizar un entorno favorable para el crecimiento de las verduras elegidas (Cortes Cadavid & Vargas García, 2021).

Un invernadero permite obtener un ambiente apto para la obtención de productos, sin importar la época del año mediante el uso de la tecnología y recursos adecuados. A través de un invernadero controlado por microcontroladores, se puede conseguir productos de gran calidad con mayor eficiencia. Mediante el uso de un microcontrolador se logra minimizar la inversión, sin afectar el funcionamiento del sistema; por lo que se transforma en una alternativa de mayor accesibilidad para las personas.

Gracias a un sistema automatizado y autosustentable, la obtención del producto será en menor tiempo además de reducir en gastos, ya que no se necesitan de productos químicos o herbicidas que tienen un mayor impacto ambiental. La implementación de este diseño obtuvo como resultado que la utilización de un invernadero automatizado brinda productos de alta calidad, ya que se tomaron en cuenta variables como la humedad, temperatura, calidad del aire; en comparación a plantaciones al aire libre y sin un control automatizado, teniendo en cuenta que no se aplicó productos externos que pudieran afectar en el crecimiento de estas (Herrera Gonzalez, 2020).

La tecnología existente en la actualidad posibilita desarrollar y diseñar sistemas eficientes, teniendo en cuenta las necesidades y retos de la sociedad. Un diseño de riego automatizado conlleva al uso correcto de los recursos hídricos, las energías renovables proveen alimentación inagotable, además de que no contamina el medio en

el que se emplean, por lo que la implementación de estos tipos de desarrollos tecnológicos ofrece un sistema funcional y eco amigable.

El proyecto presenta hace uso de microcontroladores, sensores, paneles solares, bases de datos, entre otros; para alcanzar el desarrollo de huertos organopónicos automatizados. Se utilizó el método de investigación cuantitativa, debido a que se busca obtener un mejor rendimiento de manera constante. Por lo que, el sistema de riego automatizado logró reducir el consumo de agua considerablemente, la utilización de una energía renovable permite reducir el costo y consumo eléctrico, y el diseño adecuado del sistema permite obtener datos a través de sensores constantemente, para así realizar acciones de monitoreo con el fin de mejorar la producción de los huertos (Arámbulo Marin & Salazar Tapia, 2017).

El diseño de un sistema inteligente basado en internet de las cosas permite obtener datos constantemente a tiempo real, supervisar el funcionamiento de un proceso, y analizar los resultados con el fin de optimizarlo. Mediante la información recaudada a través del sistema, se pueden gestionar acciones de control automáticas que ayudan a mantener un sistema funcionando de la manera adecuada. El proyecto analizado, tiene el fin de obtener un sistema de control automático de un huerto urbano, censando variables como el caudal, temperatura, etc.

Con el uso de plataformas IOT se puede recibir información del funcionamiento del huerto constantemente, además de un aplicativo de alertas a través de un Smartphone y así tomar acciones en el momento adecuado, para evitar que los elementos del sistema se malogren y por ende, reducir el riesgo de errores. La tecnología empleada conlleva a un sistema preciso y eficaz, para el cuidado de huertos urbanos y así proveer de condiciones adecuadas para el crecimiento de las plantas que forman parte de este (Icaza Guamba & Navarrete Pinto, 2021).

El aumento acelerado de la población a nivel global conduce a la necesidad de más alimentos; por lo que los cultivos tienen mucha importancia en la actualidad. La agricultura tradicional requiere de mucho tiempo y esfuerzo, aunque este sistema se ha usado durante varios años, no brinda un alto índice de productividad. Existen muchos parámetros ambientales que se deben tomar en cuenta, los cuales pueden ser difíciles de medir manualmente; por tanto, el control y supervisión automático de estos

parámetros es una alternativa altamente viable. Este artículo propone utilizar un microcontrolador para monitorear variables como la temperatura, humedad, entre otros; a través de sensores colocados estratégicamente para posteriormente enviarla a la persona a cargo del huerto. Este sistema permite incrementar el rendimiento y producción de las plantas a través de otorgar las condiciones correctas para un crecimiento apto, teniendo en cuenta un bajo consumo de agua y energía. Siendo así, un sistema que satisface las necesidades tanto de un huerto automatizado y disminuye el uso de recursos (Kumar et al., 2021).

India es un país altamente agrícola, donde la mayoría de personas tiene sus propios cultivos; pero debido a la falta de tiempo no se les da el cuidado adecuado; por lo que la solución más factible es un control inteligente para monitorear el desarrollo de los cultivos. El sistema propuesto, permite tener un control a tiempo real, haciendo uso de la automatización y el internet de las cosas, ya que por medio de estos se puede hacer un seguimiento constante a las variables existentes en este sistema.

Este proyecto buscó mejorar las condiciones de crecimiento de las plantas, manteniendo un control adecuado de humedad y temperatura; además de que utiliza un sistema de riego automático de bajo consumo, librando así a las personas de realizar esta acción tediosa. La acción de riego se realizará en base a los datos adquiridos a través de los sensores utilizados. Los datos recopilados se enviarán a una aplicación móvil que cuenta con un sistema de alertas. El objetivo de este sistema es crear un ambiente adecuado para propiciar un crecimiento óptimo de los cultivos, minimizando el consumo del recurso hídrico (Sambath et al., 2019).

El sector agroalimentario se renueva constantemente, requiriendo a cada instante de nuevos sistemas que permitan realizar acciones de manera más rápida y fácil. La agricultura eficiente, y la disminución del uso de recursos hídricos se puede lograr mediante un control y monitoreo en tiempo real. El principal problema de estos sistemas de control es que el costo de su desarrollo es caro y la autonomía es baja; por lo que este documento busca otorgar una alternativa accesible haciendo uso del internet de las cosas, redes de sensores inalámbricos y tecnologías de red de alto alcance, de esta manera la persona que quiera supervisar los datos provenientes del cultivo pueda hacerlo en tiempo real, a través de sensores distribuidos a lo largo de los cultivos. El

sistema basado en WSN mostró que obtiene un consumo más que aceptable, ya que las baterías que alimentan el sistema duran aproximadamente 724 días, adquiriendo datos cada treinta minutos. Este proyecto permite al agricultor observar toda la información que requiera, y a través de estos datos, el sistema de riego será eficiente y automático (Borrero & Zabalo, 2020).

La agricultura de precisión se logra a través de dispositivos tecnológicos que recopilan datos constantemente, dichos datos se adquieren a través de sensores ubicados estratégicamente en los cultivos, haciendo uso del hardware y software adecuado para un funcionamiento óptimo. Los sistemas de adquisición de datos almacenan, procesan y envían la información recopilada por medio de un protocolo de comunicación. En la última década los sistemas de adquisición de datos están siendo cada vez más flexibles, por lo que no solo recopilan una gran cantidad de datos, sino que también se pueden utilizar varios protocolos para comunicarse con otros dispositivos tecnológicos; además de que deben ser lo suficientemente robustos y rentables para poder funcionar por largos periodos de tiempo. Se mostró que el modelo diseñado, tiene un consumo de energía mucho más bajo que los modelos comerciales, además de que la solución presentada, no sólo es confiable, sino que es robusta y de bajo costo; por lo que es capaz de recopilar datos de manera precisa y eficiente, lo que conlleva a una agricultura sostenible y de calidad (Morais et al., 2021).

El desarrollo tecnológico en la comunicación inalámbrica ha propiciado la aparición de un nuevo método de agricultura, la agricultura inteligente. Este método comprende el uso de la agricultura de precisión, que radica en el uso de tecnología actual haciendo uso de dispositivos capaces de recopilar datos y proporcionar acciones previamente definidas cuando sea necesario. La Agricultura de precisión inteligente, hace uso de la agricultura convencional aplicando recursos tecnológicos, ya sea el control automatizado, redes de sensores inalámbricos o el internet de las cosas, para aumentar la eficiencia de cualquier tipo de cultivos. Este proyecto presenta un sistema de adquisición de datos agrícola, haciendo uso de la energía solar y dispositivos IOT. Fue diseñado para recopilar datos de las condiciones ambientales para su posterior procesamiento y así, mediante un sistema programado, se tomará una acción en caso de solventar un problema o variación no deseada en el sistema; además de que al usar

energía renovable, se aumenta la vida útil del dispositivo al no depender de una fuente de alimentación convencional (Sadowski & Spachos, 2018).

2.2. Sistemas de control y automatización

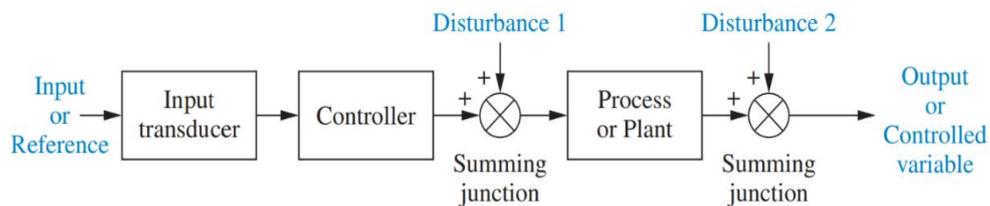
Los sistemas de control permiten utilizar equipos con mucha facilidad y precisión, que de otro modo sería imposible. Por ejemplo, se puede apuntar enormes antenas hacia lugares específicos para captar señales de radio, los ascensores llevan a un destino específico deteniéndose automáticamente en el piso correcto.

“Un sistema de control consta de subsistemas y procesos (o plantas) en conjunto con el fin de obtener un resultado deseado con el rendimiento deseado, dada una entrada específica” (Nise, 2015).

2.2.1. Control en lazo abierto

Son aquellos sistemas en los que la salida no implica ninguna acción de control. Este sistema inicia con un subsistema llamado transductor de entrada, que permite que la entrada pueda ser utilizada por un controlador; el controlador impulsa un proceso o una planta. La entrada se denomina referencia, mientras que la salida se la conoce como variable controlada (ver figura 1). En este tipo de sistemas también existen otras variables que se conocen como perturbaciones, las cuales afectan directamente a la respuesta del controlador y pueden resultar en una salida distante a la señal de referencia.

Figura 1: Diagrama de un Sistema de Control en lazo Abierto



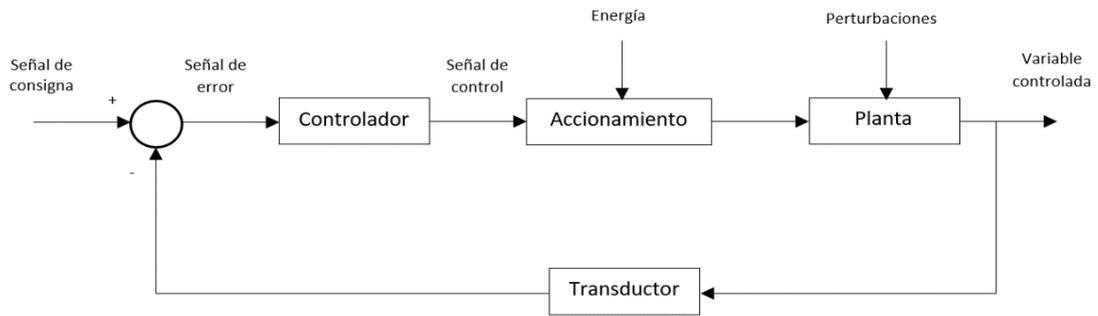
Fuente: (Nise, 2015)

2.2.2. Control en lazo cerrado

La estructura de este tipo de sistemas de control se basa en la utilización de una cadera directa y una realimentación, conformando así un lazo de control. Por lo tanto, un sistema de control en lazo cerrado es tal en el que la acción de control se basa en

los datos obtenidos de la o las señales de salida (Daneri, 2009). En este tipo de sistemas la respuesta transitoria y el error en estado estable se puede controlar de manera más conveniente y con mayor flexibilidad en este tipo de sistemas; aunque, por otro lado, suelen ser más complejos y costosos que su contraparte. En la fig. 2 se muestra la estructura común de un sistema de control en lazo cerrado

Figura 2: Diagrama de un Sistema de Control en Lazo Cerrado



Fuente: (Daneri, 2009)

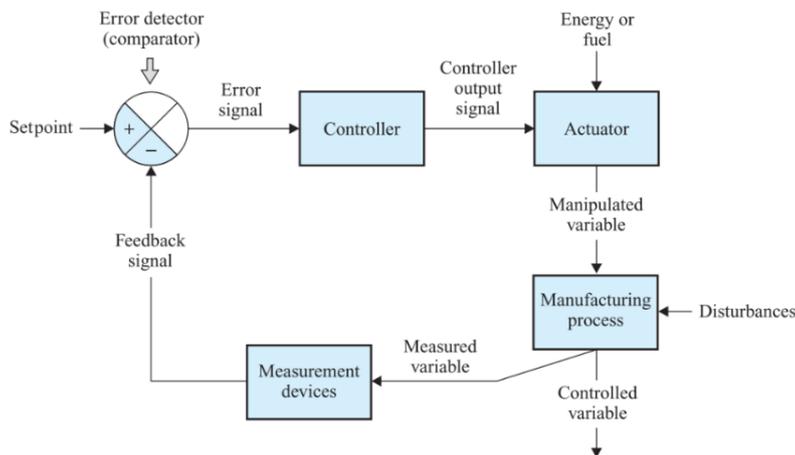
2.2.3. Elementos de un sistema de control

En esta sección se describirá los elementos que conforman un sistema de control tal como se observa en la fig. 3.

- **Variable controlada:** es aquella señal real que se supervisa y mantiene en un valor deseado en el proceso de fabricación.
- **Variable medida:** se usa para monitorear el estado de la variable controlada.
- **Dispositivo de medición:** es el dispositivo que detecta la variable medida y produce una señal de salida que representa el estado de la variable controlada
- **Señal de retroalimentación:** es la salida del dispositivo de medición, conocida como señal de medición.
- **Punto de consigna:** es el valor de entrada prescrito aplicado al lazo que indica la condición deseada de la variable controlada. Este punto de ajuste puede ser establecido manualmente por un operador, automáticamente por un dispositivo electrónico o por medio de un software.
- **Detector de errores:** compara el punto de ajuste con la señal de retroalimentación, para posteriormente producir una señal de salida que es proporcional a la diferencia entre estas.

- **Señal de error:** la señal de error es la salida del detector de errores, si el punto de consigna y la retroalimentación no son iguales, se produce una señal de error proporcional a su diferencia. En caso de que sean iguales, la señal de error es igual a cero.
- **Controlador:** es el cerebro del sistema. Recibe la señal de error, como su entrada y produce una señal de salida que hace que la variable controlada se convierta en el valor determinado por el punto de consigna.
- **Actuador:** es un dispositivo que transforma la energía en una acción dentro del proceso; provocando que la variable controlada coincida con el punto de consigna deseado.
- **Variable manipulada:** la cantidad de energía que influye sobre el actuador se denomina variable manipulada, la cantidad en que el actuador cambie la variable manipulada afecta la condición de la variable controlada.
- **Proceso de control:** es la operación que realiza el actuador para controlar una variable física, como el movimiento de una máquina o procesamiento de un líquido.
- **Perturbaciones:** es un factor que altera el proceso en curso, provocando un cambio en la variable controlada.

Figura 3: Elementos de un Sistema de Control en Lazo Cerrado



Fuente: (Bartelt, 2011)

En base a los tipos de sistemas de control, y los elementos que lo conforman se debe tener en cuenta la estabilidad de un proceso en sí; la estabilidad depende netamente del error entre el sistema físico y su modelo. En otras palabras, cuando se

aplica un control diseñado a un sistema real puede ser o no estable. Aquí radica la importancia de definir el rango de errores posibles, para que en caso de que una perturbación influya en el proceso y ésta se encuentre en el rango de errores, el sistema siga siendo estable.

2.3. Sensores y actuadores para invernaderos urbanos

En cualquier tipo de sistema de control, es de carácter fundamental controlar y mantener ciertas constantes y magnitudes. “Los instrumentos de medición y control permiten el mantenimiento y la regularización de estas constantes en condiciones más idóneas que las que el propio operador podría realizar” (Creus Solé, 2011).

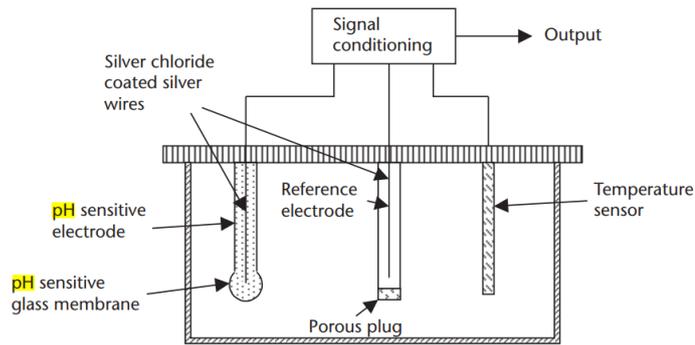
En el caso del proyecto presente existe cierta cantidad de variables presentes en el entorno, de las cuales se debe adquirir datos e información a través de sensores, para el posterior control de estas; entre dichas variables se encuentran: pH, temperatura, humedad, etc.

2.3.1. Sensor de pH

La medida de pH es aquella en la que se calcula la acidez o alcalinidad del agua con ciertos compuestos químicos. El pH es una variable importante a tener en cuenta cuando se trata de procesos biológicos, o cuando se busca obtener agua pura y limpia para limpiar o diluir productos químicos (Dunn, 2006).

Un sensor de pH se basa en el uso de un electrodo (ver fig. 4), utilizado como sensor y otro electrodo de consigna o referencia que contiene una solución alcalina, los cuales se sumergen en una solución o fluido. Dichos electrodos están conectados a un amplificador diferencial, el cual amplifica la diferencia de voltaje entre ambos, dando como salida un voltaje que es equivalente al pH calculado. Los cambios de temperatura pueden ocasionar cambios en el pH, por lo que mediante el uso de la electrónica se puede corregir dicha perturbación.

Figura 4: Sensor de pH



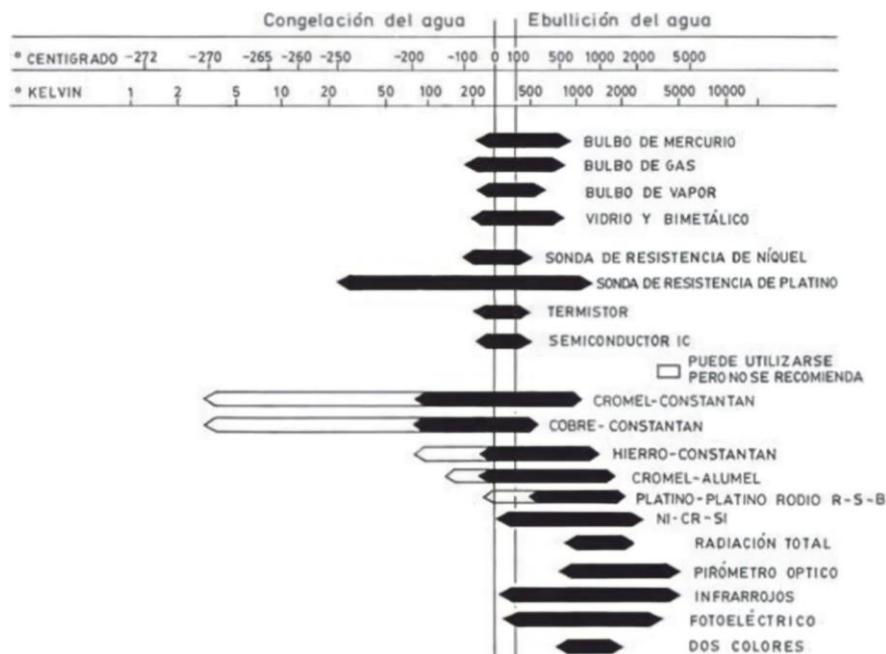
Fuente: (Dunn, 2006)

2.3.2. Sensor de temperatura

Los sensores de temperatura forman parte indispensable de la mayoría de los procesos y sistemas dentro de la automatización, debido a su influencia en otras variables y fenómenos físicos que presenta.

Debido a la importancia de esta variable existen varios instrumentos para su medición como: termómetros de cristal de cuarzo, termómetros ultrasónicos, pirómetros de radiación, termopares, termómetros de resistencia, termómetros bimetalicos, entre otros. En la fig. 5 se muestran los rangos de medición de instrumentos usados frecuentemente en la industria.

Figura 5: Campo de Medida de Instrumentos para la Medición de Temperatura



Fuente: (Creus Solé, 2011)

2.3.3. Sensor de humedad

Existen muchos sensores, además de los de nivel, presión, temperatura, que no se encuentran en todos los procesos, pero que aún siguen siendo parte importante de procesos industriales de alta tecnología y en la protección del operador, tales como los sensores de humedad.

Es necesario controlar y medir la cantidad relativa de vapor de agua presente en muchos procesos industriales, que puede estar presente en el aire o un gas. Dicha variable se puede medir utilizando variables que absorben el vapor de agua (ver fig. 6), midiendo el calor latente de evaporación, por medición del punto de rocío; o por absorción de microondas (De Silva, 2016).

Figura 6: Sensor de Humedad de Suelo



Fuente: (Enciso et al., 2007)

2.3.4. Electroválvulas

Los líquidos y los gases forman parte de un grupo general llamado fluidos, dichos se pueden controlar mediante un sistema que permita el paso de este. Una electroválvula es un dispositivo conformado por el solenoide y la válvula (Nesbitt, 2007). Dependiendo del uso que se le dé esta puede ser normalmente cerrada o abierta, aunque lo común es que sea normalmente cerrada (ver fig.7); además de que el tamaño de la electroválvula depende directamente del coeficiente de caudal.

Figura 7: Válvula Solenoide Típica

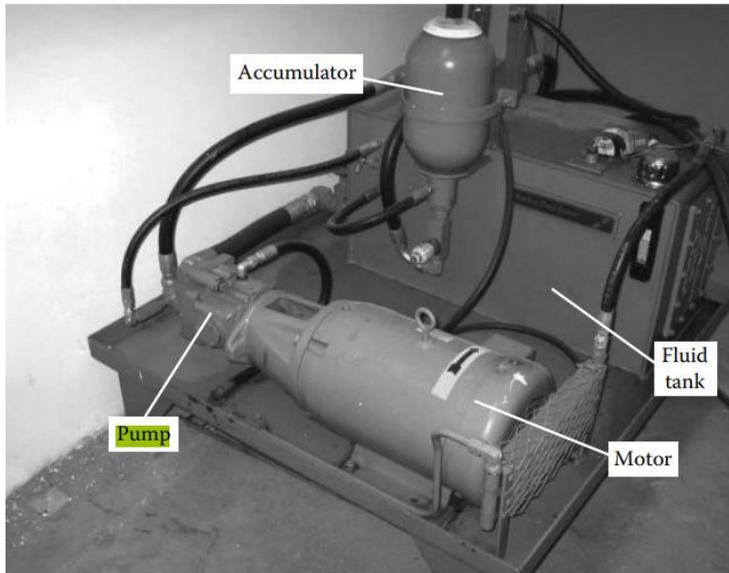


Fuente: (Creus Solé, 2011)

2.3.5. Electrobombas

También conocidas como bombas dosificadoras, utilizan actuadores ya sean neumáticos, electrónicos, entre otros, para producir el desplazamiento de cualquier tipo de fluidos de manera precisa a sistemas de control dentro de la industria. Su funcionamiento se basa en transformar energía en presión, para de esta manera producir el movimiento de un líquido (Dunn, 2006). En la figura 8, se observa un sistema de control hidráulico, el cual requiere de una electrobomba para garantizar un caudal específico de trabajo.

Figura 8: Electrobomba en un Sistema de Control Hidráulico



Fuente: (De Silva, 2016)

2.4. Modelado con UML

“El lenguaje unificado de modelado es un lenguaje que se basa en un modelado de notación gráfica, con el fin de especificar, visualizar y documentar los dispositivos y artefactos presentes en un sistema software” (Rumbaugh et al., 2007).

2.4.1. Diagramas de casos de uso

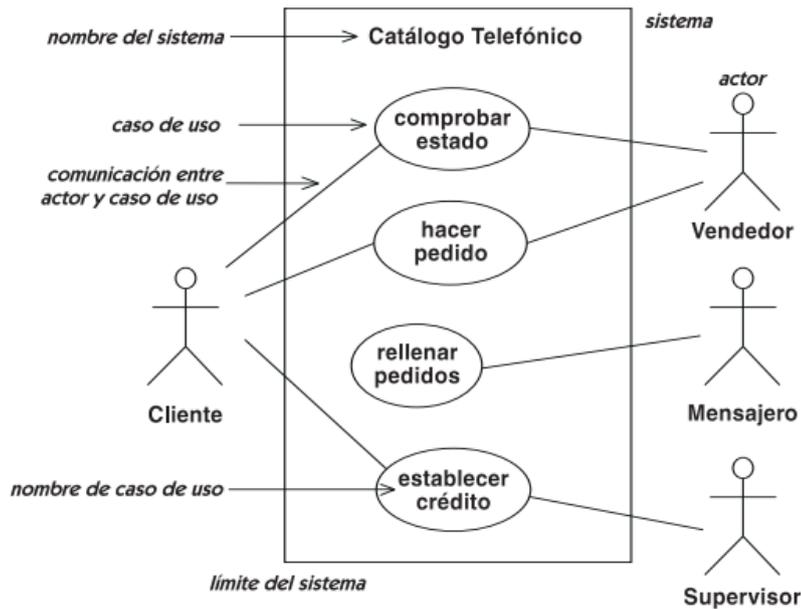
El diagrama de casos de uso permite describir los posibles escenarios de uso para los que se desarrolla el sistema. Expresa lo que debe hacer un sistema, sin embargo, no aborda ningún detalle de realización como estructura de datos, algoritmos, etc; este tipo de detalles se muestran en otros diagramas. Los diagramas de casos de uso se utilizan durante todo el proceso de análisis y diseño. A grandes rasgos, los casos de uso muestran para qué se usará el sistema (Seidl et al., 2012).

Por lo tanto, un caso de uso es una colección de escenarios que están formados por varios pasos. En cada escenario de cada caso de uso se busca indicar:

- Descripción del escenario.
- Conjeturas del escenario.
- El actor del caso de uso.
- Condiciones para el caso de uso.
- Condiciones resultantes cuando termina el escenario.
- Actor beneficiario del caso de uso.

Para garantizar que cualquier diagrama de casos de uso, sin importar el tamaño, sea claro, se debe seleccionar nombres breves y concisos para los casos de uso. Dado el caso que existan situaciones en las que la intención del caso de uso no sea clara, se puede optar por describirlo uso. En la fig. 9 se observa un diagrama de casos de uso el cual cumple con los requerimientos mencionados.

Figura 9: Diagrama de Casos de Uso



Fuente: (Rumbaugh et al., 2007)

2.4.2. Diagramas de secuencias

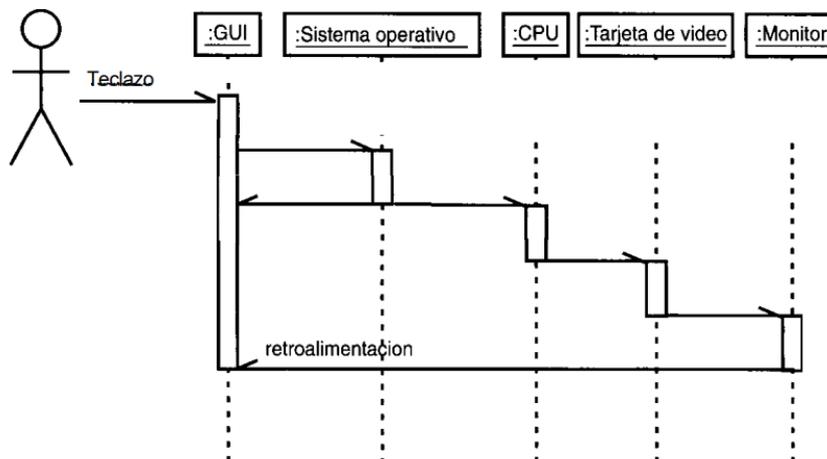
Es aquel diagrama que se enfoca a los distintos estados de un objeto. El diagrama de secuencias del lenguaje unificado de modelado determina el siguiente paso y muestra la forma en la que los objetos interactúan entre sí a través del tiempo (Schmuller, 2000).

El diagrama de secuencias está conformado por objetos (representados por rectángulos), mensajes (representados por líneas continuas con punta de flecha) y el tiempo (representado como una progresión). Los objetos se deben colocar de forma que simplifiquen el diagrama, puede ser en la parte superior, de izquierda a derecha. La extensión en la parte inferior del objeto será una línea entrecortada que se conoce como línea de vida. Junto a la línea de vida se encuentra un rectángulo conocido como activación, la cual representa la operación que realiza el objeto.

Un mensaje puede ser de varios tipos, ya sea simple, sincrónico o asincrónico, además este puede ir de un objeto a otro e incluso puede enviarse un mensaje a sí mismo. El tiempo se representa de forma vertical, este empieza en la parte superior y avanza hacia abajo, por lo tanto, un mensaje que esté más cerca del inicio ocurrirá antes que otro que se encuentre más abajo. Mediante estos se puede definir que un

diagrama de secuencias tiene dos dimensiones, una en “x” y otra en “y”. En “x” se dispone los objetos y en “y” se muestra el transcurso del tiempo (ver fig. 10).

Figura 10: Ejemplo de un Diagrama de Secuencias



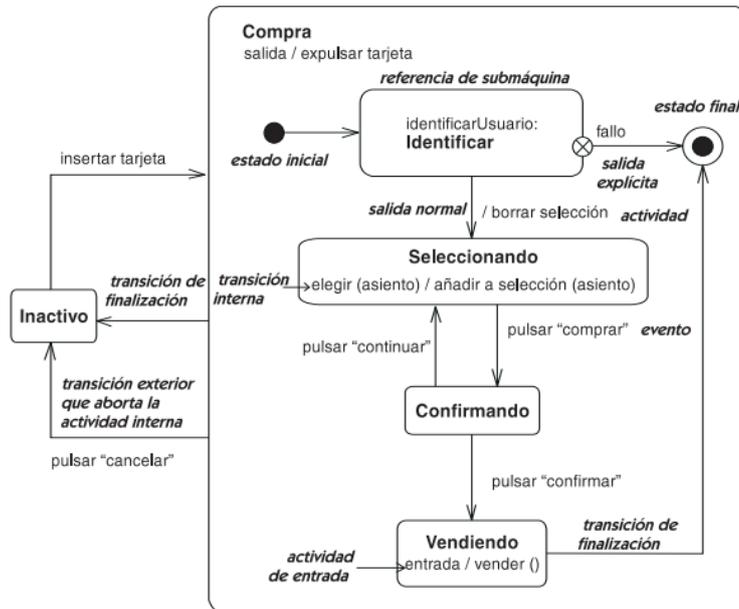
Fuente: (Schmuller, 2000)

2.4.3. Diagramas de estados

Los diagramas de estados permiten describir y detallar cómo funciona un sistema. Además de detallar todos los estados posibles en los que puede entrar un objeto y cómo cambia el estado de este. Generalmente este tipo de diagramas se dibuja mostrando de qué manera se comporta un objeto en el transcurso del tiempo o durante su ciclo de vida (Fowler & Scott, 1999).

Un diagrama de estados es un modelo de las posibles situaciones que un objeto puede pasar a través de un evento. Un evento es un tipo de suceso que tiene lugar en el tiempo y el espacio, y se lo menciona como tal porque tiene consecuencias sobre el objeto. Un estado se describe mediante sus efectos y relaciones, dichos estados se conectan a través de transiciones que conectan uno o más de estos. Mientras una transición define la respuesta de un objeto en ese estado a la ocurrencia de un objeto. En la figura 11 se puede observar un diagrama de estados en el que se indican los posibles estados del sistema y las transiciones que se requieren para la ejecución de estos.

Figura 11: Ejemplo de un Diagrama de Estados



Fuente: (Rumbaugh et al., 2007)

En resumen, este tipo de diagramas muestra los estados en los que se puede encontrar un objeto junto con las transiciones entre los estados, mostrando el punto inicial y final de una secuencia de cambios de estado.

2.5. Modelado con redes de Petri

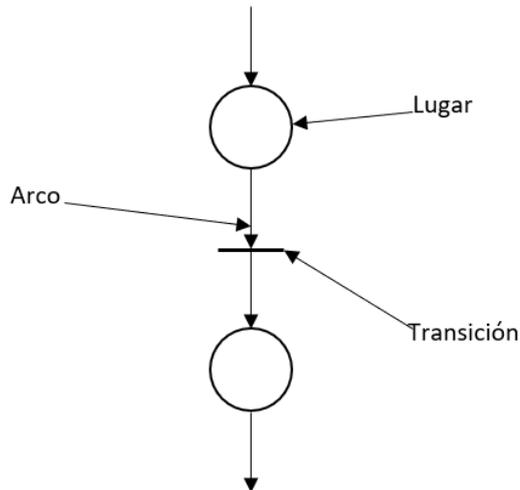
Una red de Petri es una herramienta gráfica, que se usa para presentar sucesos tales como la dinámica de eventos, sincronización, etc. Dichos sucesos o fenómenos forman parte de los sistemas industriales, protocolos de comunicaciones, redes de computadoras, entre otros (Silva, 1985). Las redes de Petri se suelen conformar de elementos tales como lugares, transiciones y arcos; siendo conceptos diferentes. Un círculo representa a los lugares, que, a grandes rasgos, muestran la forma estable de la interacción de dos sucesos consecutivos en un sistema.

Las transiciones aparecen a través de segmentos de recta, los cuales están relacionados con eventos, los cuales, al activarse, provocan una transición y el marcado de lugares distintos; mientras que los arcos permiten unir lugares y transiciones.

De forma general, una red Petri es una cuádrupla formada por (ver fig. 12):

- P \Rightarrow conjunto finito de lugares
- T \Rightarrow conjunto finito de transiciones
- A \Rightarrow conjunto finito de arcos
- w \Rightarrow función de peso, w: A \rightarrow {1,2,3,...}

Figura 12: Lugar, Arco y Transición de una Red de Petri



Fuente: (David & Alla, 2010)

Un lugar se dice que es una entrada a una transición, en caso de existir un arco que se dirige desde el lugar hasta dicha transición. Mientras que, un lugar es de salida a una transición, cuando existe un arco con dirección a dicho lugar.

En general, una RdP (red de Petri) presenta dos características fundamentales. En primer lugar, permite modelar y visualizar comportamientos con paralelismo, concurrencia, sincronización y uso compartido de recursos. En segundo lugar, los resultados teóricos sobre este tipo de redes son abundantes; por lo que permite realizar un estudio profundo de un sistema (David & Alla, 2010).

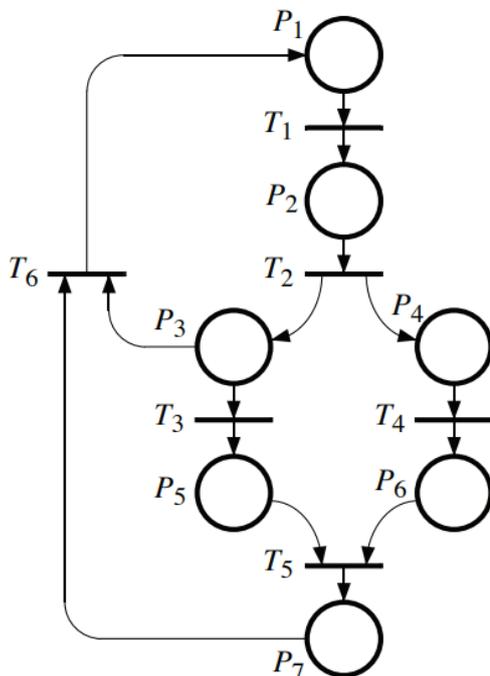
2.5.1. Semántica de las redes de Petri

Interpretaciones de los componentes de una RdP:

Los recursos se representan a través de marcas, estos pueden ser físicos y no físicos. Las acciones que consumen recursos para transformarlos a algo nuevo se denominan transiciones. El número de marcas de una RdP puede variar, ya que una transición puede representar una operación de ensamblaje de una parte compleja a partir de piezas básicas, o lo contrario, una especie de desguace.

Los mensajes pueden agruparse y producir uno nuevo, o varios lugares pueden recibir el mismo mensaje. En la figura 13 se muestra una red de petri conformada por 7 lugares y 6 transiciones; las transiciones y lugares interaccionan a través de los arcos. En base a lo mencionado en este punto, se intuye que existe una marca inicial que representa el recurso del sistema, los cuales se pueden almacenar en cada uno de los lugares presentes en la red. Sin embargo, la mejor manera para identificar el funcionamiento de una red de petri, es a través de las propiedades que esta posea, las cuales se detallarán en el siguiente punto de estudio.

Figura 13: Ejemplo de una Red de Petri



Fuente: (David & Alla, 2010)

2.5.2. Propiedades de las Redes de Petri

2.5.2.1. Vivacidad

Esta propiedad es de carácter muy importante, ya que desde que una Red de Petri posee esta propiedad, se deduce que no va a tener bloqueos estructurales en su modelado. Los bloqueos se presentan cuando una red modelada tiene transiciones que no pueden ser disparadas a partir de un momento en específico.

2.5.2.2. Limitabilidad

Una RdP se denomina limitada cuando posee una única marca; también conocidas como Redes de Petri binarias, de las cuales existen derivados como el

Grafcet, siendo de igual importancia ya que su uso se usa ampliamente en la automatización basadas en el uso de PLC's, al igual que la lógica cableada.

La definición formal de Limitabilidad es: una red de Petri es limitada para una marca inicial M_0 , si la totalidad de los lugares son limitados para M_0 .

2.5.2.3. Conforme

Esta propiedad es el conjunto de las dos mencionadas anteriormente, una RdP es conforme si para un marcado inicial dicha red es binaria (correspondiente a la propiedad de Limitabilidad) y viva (correspondiente a la propiedad de vivacidad).

2.6. Invernaderos urbanos

El término de invernaderos urbanos ha ganado popularidad en todo el mundo, principalmente en países desarrollados tales como Estados Unidos, Alemania, entre otros. En la actualidad ya no es necesario poseer un acre de tierra para plantar alimentos y hierbas, hoy se puede cultivar en cualquier espacio que se posea.

Se puede desarrollar nuevas formas de agricultura en áreas urbanas sin suelo, en tejados, a lo largo de fachadas, en invernaderos o sobre cuencas de agua. La ubicación de invernaderos en áreas urbanas puede tener cierta importancia en otros parámetros como el tamaño de la parcela, la elección del cultivo e incluso los actores involucrados (Glatron & Grantham, 2018).

En la figura 14 se presenta un invernadero dedicado a un cultivo específico, el cual, a pesar de ocupar una gran área de espacio, muestra claramente la estructura interna de un invernadero.

Figura 14: Invernadero Dedicado a la Producción de Plantas Ornamentales



Fuente:(Serrano Cermeño, 2005)

2.6.1. Objetivos de un invernadero urbano

En general, un invernadero urbano busca cambiar el entorno en el que se encuentra, mediante medidas de control para alcanzar el mismo o mayor nivel de productividad de cultivos que cultivos en condiciones de campo abierto. En base al objetivo mencionado, se puede hacer o diseñar un invernadero urbano aprovechando eficientemente las características del suelo, agua, energía, espacio, etc. (Serrano Cermeño, 2005).

Por lo que, mediante un diseño apropiado de un invernadero urbano se puede conseguir:

- Disminuir el uso de recursos hídricos.
- Limitar el impacto de bajas o altas temperaturas en los cultivos.
- Reducir el daño de plagas y otras enfermedades.
- Aumentar la eficiencia y productividad.

2.6.2. Protección de cultivos

Proteger un cultivo permite obtener producciones de alta calidad, ya sean hortalizas, frutas, entre otros. Uno de los factores que influyen ya sea positiva o negativamente en una plantación es el clima, ya sea por falta o exceso de radiación solar, falta o exceso de humedad o el exceso de viento son fenómenos que pueden afectar gravemente al correcto desarrollo de un invernadero urbano. Por lo que existen varias formas de proteger nuestros cultivos de factores externos a este (Castilla, 2007).

Se pueden colocar protecciones a un invernadero urbano (ver fig.15), con el fin de proteger a las plantas de condiciones meteorológicas adversas, ya sea que se coloque sobre el suelo, en forma de cortavientos de protecciones laterales, o en forma de invernaderos, túneles y cubiertas flotantes.

Figura 15: Protección para Cultivos - Túnel alto



Fuente: (Castilla, 2007)

2.6.3. Principales tipos de invernaderos

Los invernaderos son estructuras cerradas dentro de las cuales se pueden alcanzar condiciones controladas para el cultivo óptimo de plantas. La elección del tipo de invernadero se basa en el tipo de suelo, topografía, vientos y características climáticas. Entre los principales tipos de invernaderos se encuentran:

2.6.3.1. Tipo plano

Los invernaderos planos (ver fig. 16), son idóneos para áreas con bajo índice de lluvias, ya que debido a su estructura el agua lluvia no tiene la posibilidad de evacuarse, generando acumulación de agua, que pueden colapsar o perjudicar el invernadero.

Figura 16: Invernadero de Tipo Plano



Fuente: (Serrano Cermeño, 2005)

2.6.3.2. Tipo capilla

Un invernadero de tipo capilla (ver fig. 17) puede formar uno o dos planos en la parte superior o techo, es un tipo de invernadero de fácil construcción y mantenimiento, además de que la forma de su estructura facilita la colocación de distintos tipos de cubiertas. Gracias a su estructura en forma de capilla, se suelen

implementar en áreas con alto índice de lluvias, ya que no permite que se formen depósitos de agua que pueden comprometer la estructura del invernadero. La inclinación del techo del invernadero depende directamente del índice de radiación solar que se requiera para los cultivos.

Figura 17: Invernadero de Tipo Capilla

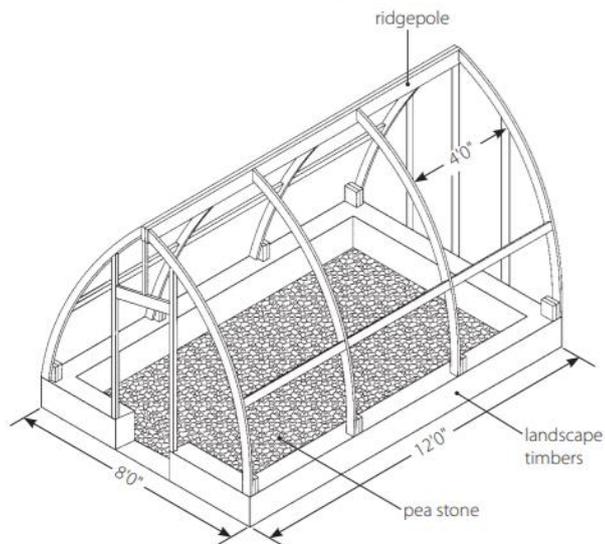


Fuente: (Serrano Cermeño, 2005)

2.6.3.3. Tipo gótico

Es bastante similar al invernadero de tipo capilla, principalmente se diferencia en la estructura de los arcos, ya que estos tienen forma ojival para aumentar el volumen de aire y así brindando un microclima favorable. Se los recomienda para condiciones climáticas difíciles, aunque requieren de mantenimiento en tiempos relativamente cortos en comparación a los otros tipos de invernaderos.

Figura 18: Invernadero de Tipo Gótico

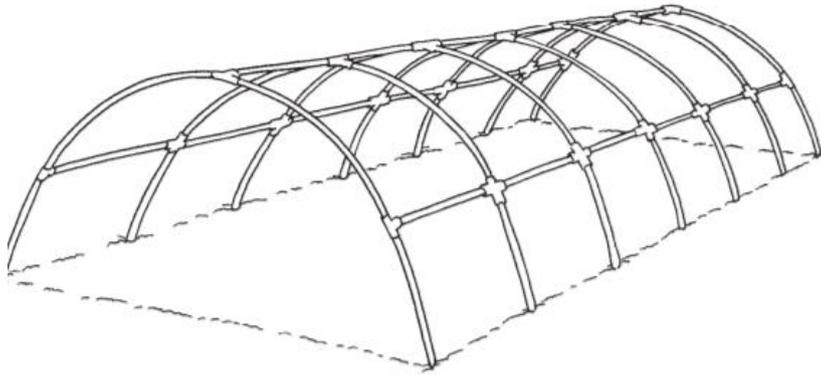


Fuente: (Marshall, 2006)

2.6.3.4. Tipo túnel

Es un tipo de invernadero adecuado para áreas pequeñas y cultivos que no requieren de un espacio grande, son bastante económicos gracias a la simpleza de su estructura (Castilla, 2007).

Figura 19: Invernadero de Tipo Túnel

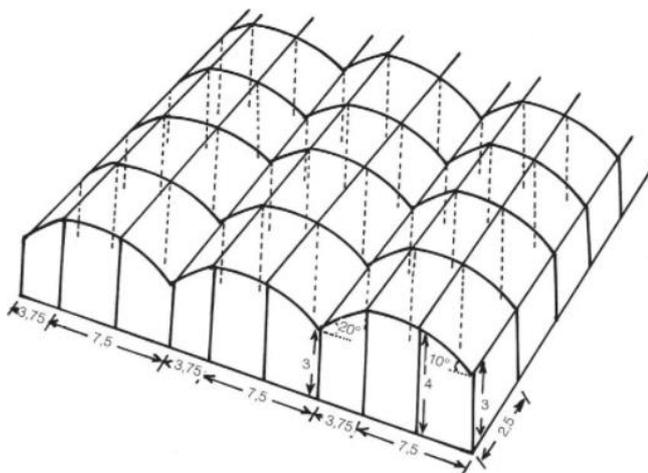


Fuente: (Marshall, 2014)

2.6.3.5. Tipo asimétrico

Se denominan asimétricos ya que uno de los lados de su cubierta se encuentra más inclinado que el otro, debido a que busca aprovechar de mejor manera la radiación solar, aunque debido a lo mencionado anteriormente la temperatura de este puede aumentar considerablemente.

Figura 20: Invernadero de Tipo Asimétrico



Fuente: (Castilla, 2007)

2.6.4. Materiales empleados en las estructuras de invernaderos

Comúnmente se utiliza más de un material a la hora de construir un invernadero, entre los cuales se pueden encontrar: madera y alambre, hierro y alambre, hierro y

madera, hormigón y madera. En el caso del uso de alambre, se suele utilizar como material accesorio o constructivo fundamental, generalmente suele ser alambre galvanizado. Con respecto a la madera las más comunes son: eucalipto y pino (Serrano Cermeño, 2005).

2.6.5. Requerimientos para el cultivo de rábano (*Raphanus sativus*)

A pesar de ser un tipo de cultivo bastante resistente a condiciones climáticas adversas, necesita de ciertos requerimientos tales como una temperatura entre 7 °C y 21 °C, la humedad relativa se debe encontrar en un rango entre 60% y 65%, mientras que el valor del pH no podrá ser menor de 5.5 ni superar el valor de 6.8 (Nasevilla Bonilla, 2010).

CAPÍTULO III

DISEÑO DEL INVERNADERO URBANO

Un invernadero urbano es una forma relativamente simple de obtener productos agrícolas de calidad, propiciando un ambiente controlado; en este caso el control de este se mejora radicalmente gracias a la utilización de microcontroladores y demás dispositivos tecnológicos.

3.1. Consideraciones iniciales de diseño

Para comprender el funcionamiento de un sistema es necesario conocer detalles de gran relevancia tales como elementos, características y funciones de este; para posteriormente abordar puntos de mayor complejidad.

3.1.1. Descripción

Teniendo en cuenta los requerimientos para el cultivo de rábano, se diseñó un sistema de control para un invernadero urbano. A través de sensores se monitorea las variables presentes en el sistema, para posteriormente corregirlas y ofrecer un ambiente controlado que propicie el correcto crecimiento de los cultivos.

Haciendo uso de un microcontrolador se ejecutarán acciones previamente definidas para alcanzar valores específicos. A través de un teclado matricial 4x4, se podrá definir el rango de valores correctos, para brindar un sistema de control flexible. Para los sistemas de control, se utilizarán sensores de humedad, temperatura y pH, electroválvulas, bombas de agua, entre otros. El control de las variables del sistema se realizará constantemente durante el día, debido a que la radiación solar varía dependiendo de la hora del día, además de que la humedad y temperatura del ambiente cambia dependiendo de la estación del año en la que se encuentre.

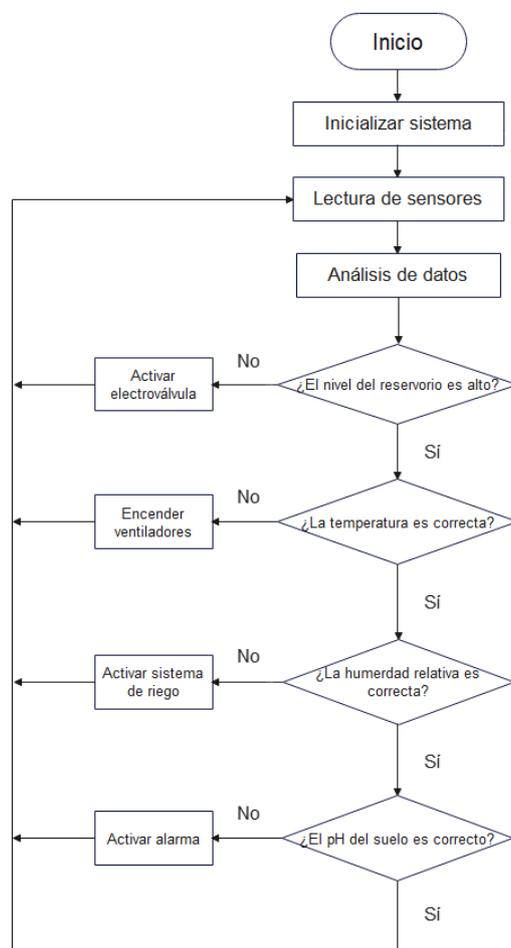
Mediante el uso de un reservorio de agua, el cual poseerá un sensor de nivel de proveerá de líquido al sistema de riego. Se hará uso de un sistema de riego por goteo, debido a su alta efectividad y ahorro de recursos hídricos. Al utilizar un sensor para controlar la humedad relativa del suelo, se activará el sistema de riego hasta que dicha

variable alcance el valor deseado. Además, el sistema de riego y de ventilación permite obtener un ambiente adecuado para el invernadero.

Por medio de un sistema de alarmas, el usuario encargado del invernadero conocerá cuando el reservorio de agua esté vacío, de igual manera se informará a la persona encargada del invernadero cuando se necesite agregar aditivos o materia orgánica a las cajas de cultivo para regular el pH del suelo.

El siguiente diagrama (ver fig. 21) permite explicar de manera simple los procesos que intervienen en el sistema, logrando así un entendimiento correcto de lo descrito previamente.

Figura 21: Diagrama de Flujo del Sistema

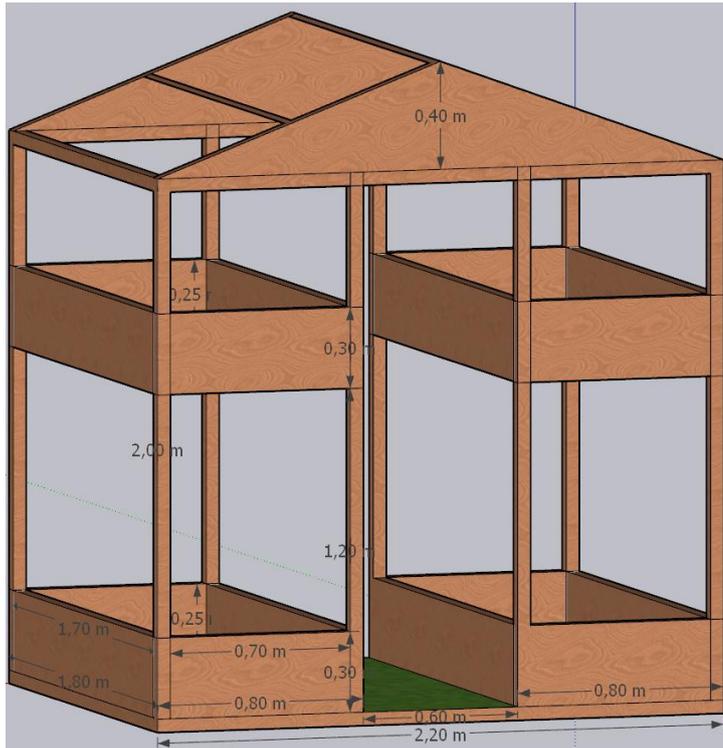


3.1.2. Caracterización

El diseño del invernadero urbano, en base a lo mencionado en el apartado anterior, estará conformado de las siguientes características:

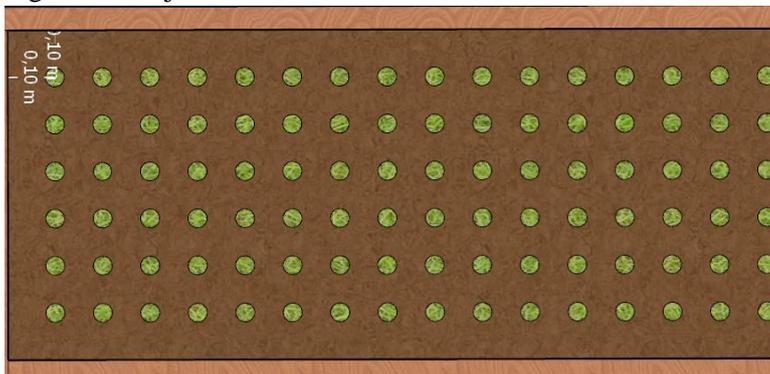
- La estructura del invernadero será de tipo capilla (ver fig. 22), ya que tanto su construcción y mantenimiento son simples. El área del invernadero será de $4m^2$, $1.80m \times 2.20m$, con una altura de $2.40m$. Para el diseño del invernadero se ha planteado 4 cajones de cultivo con una medida de $0.70m \times 1.70m$, con una profundidad de $0.25m$.

Figura 22: Estructura del Invernadero



- En cada caja de cultivo, se puede sembrar un aproximado de 96 semillas de rábano, ya que cada planta debe tener una separación de entre $7 a 12cm$, por lo que en el invernadero urbano se podrá sembrar un valor estimado de 384 plantas.

Figura 23: Cajón de Cultivo



- Se utilizará una placa Arduino MEGA, debido a su bajo costo y disponibilidad en el mercado, posee un microcontrolador ATmega2560, 54 pines de E/S digitales, 16 pines analógicos de entradas y una memoria SRAM de 8 kb.
- Para alimentar el Arduino MEGA, se utilizará un rectificador 110V AC / 60 Hz a 9V DC 1A utilizando un conector tipo JAC, ya que la propia placa posee una entrada para este tipo de conector.
- Para ingresar el rango de valores de las variables, se hará uso de un teclado matricial de 4x4, el cual posee unas dimensiones de 6.5 cm x 6.5 cm.
- Para mantener el control del nivel del reservorio, se realizará a través de un Sensor Ultrasónico Jsn-sr04t V3, el cual posee una precisión ± 0.5 cm con un rango de detección de 25 a 450 cm.
- En cuanto a la temperatura ambiental, se usará un sensor DHT11, debido a que es un dispositivo confiable, además que el rango de medición que ofrece está entre 0 °C a 50°C, lo cual es un rango adecuado ya que la temperatura de nuestro territorio no sobrepasa ninguno de los dos valores.
- Con respecto a la humedad del suelo se eligió el sensor FC-28, ya que permite calcular la humedad del suelo a través de dos electrodos, entre los cuales se mide la variación de conductividad entre las terminales para posteriormente entregar los resultados analizados.
- Para mostrar las alarmas del sistema, se utilizará una LCD 4x20 con módulo I2C, que requiere de una alimentación de 5V, ya que puede mostrar la información necesaria al operario.
- Para medir el pH se usará un sensor PH0-14, el cual tiene un tiempo de respuesta ≤ 5 s, con un rango de medición de 0 – 14 pH cuya tensión de la alimentación es de 5V.
- Con respecto al sistema de riego, se utilizarán electrobombas, que trabajan con un voltaje de 12 V DC las cuales tienen un rango máximo de elevación de 3 m, con un caudal $240 \frac{l}{h}$, con un diámetro exterior de salida del agua de 5 mm.
- Para el sistema de refrigeración se utilizarán ventiladores que funcionan con un voltaje de 12 V DC, los cuales brindan un volumen de aire de 6.25 CFM con un máximo de 5200 RPM.

- Para el llenado del reservorio se empleará una electroválvula normalmente cerrada, para controlar el flujo del agua, dicho elemento trabaja con un voltaje de alimentación de 12 V DC.
- Con respecto a la cubierta del invernadero, se utilizará un plástico de polietileno de baja densidad, debido a que es muy común en el mercado, además de que brinda condiciones adecuadas para invernaderos.

3.1.3. Requisitos funcionales

En el siguiente apartado se definirán las funciones que tiene el sistema propuesto teniendo en cuenta la estructura y composición de este. En las funciones principales se tiene las acciones más importantes del sistema, en las que radica la efectividad y eficacia de este, mientras que las secundarias complementan y refuerzan el funcionamiento previamente planteado.

3.1.3.1. Funciones principales

El sistema planteado tendrá ciertas funciones principales, las cuales permitirán realizar el control del invernadero, cumpliendo con los requerimientos de este.

- **Sistema de riego por goteo:** este sistema se efectuará a través de una electroválvula y de bombas de agua cuando el microcontrolador lo accione, por lo que de esta manera se garantiza el riego constante de los cultivos del invernadero.
- **Supervisión del invernadero:** el sistema de control contará con constante supervisión de las variables presentes, a través del microcontrolador Arduino MEGA y de los sensores instalados en el sistema (DHT-11, FC28, JSN-SR04T y PH0-14). Los rangos de medición son definidos en el código de programación, para que en caso de que las variables medidas no estén en el rango adecuado, se envíen alarmas para que el operador esté informado a través de una pantalla LCD, por medio de esta se proporciona un sistema de comunicación rápido y sencillo, lo que brindará la información necesaria del invernadero, para conocer si su funcionamiento está siendo el adecuado.
- **Control de la humedad relativa del suelo:** el invernadero constará de un sensor de humedad relativa para cada caja de cultivo, cuando la humedad relativa se

encuentre fuera del rango adecuado, el microcontrolador activará el sistema de riego

- **Control de temperatura:** el sistema posee un sensor de temperatura ambiental, cuando dicha temperatura exceda el valor máximo de temperatura designado en el código de programación, se activarán los ventiladores a través de un relé, los cuales ayudarán a reducir la temperatura del ambiente.

3.1.3.2. Funciones secundarias

- **Control de pH:** cada caja de cultivo poseerá su propio sensor de pH, específicamente el PH-014, cuando el valor del pH no sea el correcto se enviará una alarma, la cual será visible por medio de una pantalla LCD. Debido a que se utilizará un reservorio para alimentar el sistema de riego, se puede agregar sustancias o aditivos los cuales pueden cambiar el pH del agua, la cual se verterá en las cajas de cultivo a través del sistema de riego, brindando un proceso más simple para el usuario en caso de que se deba alterar o cambiar el pH de las cajas de cultivo.
- **Parametrización de variables:** teniendo en cuenta la importancia de que un sistema de control sea flexible, se implementó un teclado matricial 4x4 para de esta manera poder ingresar el rango de valores adecuado para cada una de las variables, es decir tanto el valor mínimo y el valor máximo, para que dado el caso en el que el operador del sistema desee implementar otra clase de cultivo, el sistema permita variar las condiciones, con el fin de otorgar un ambiente controlado.

3.2. Arquitectura del sistema

La arquitectura del sistema está conformada por los elementos que lo conforman, clasificarlos según la función de cada uno, cómo se comunican y cómo interactúan, para así lograr un mejor entendimiento del proceso que se llevará a cabo.

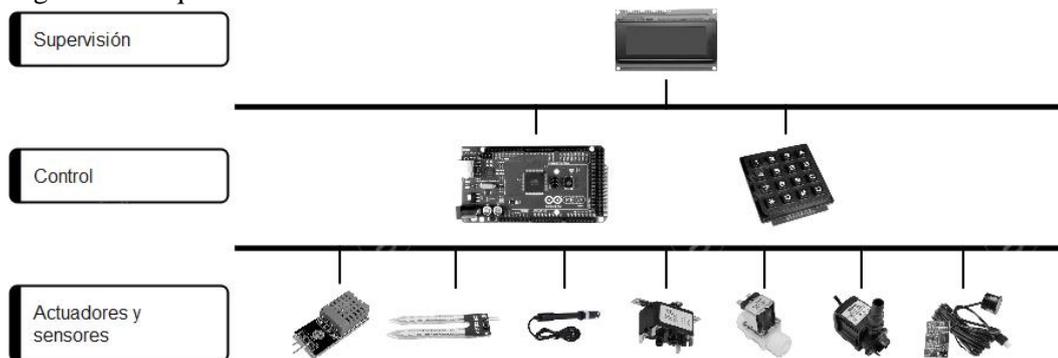
3.2.1. Arquitectura de automatización

En lo referente a la arquitectura de automatización del sistema, basados en la pirámide de automatización, se encuentran tres niveles, los cuales corresponden al nivel de actuadores y sensores, nivel de control y el nivel de supervisión.

En el nivel de actuadores y sensores, se observan todos los sensores y actuadores del sistema de control, en cuanto a los sensores se encuentran el sensor de temperatura y humedad ambiental DHT11, sensor de humedad relativa FC-28, el sensor de pH PH-014 y el sensor de nivel ultrasónico JSN-SR04T, mientras que en los actuadores se encuentran los relés, electroválvula y electrobomba.

El segundo nivel, correspondiente al de control, se encuentra el Arduino MEGA y el teclado matricial 4x4, ya que por medio de estos dispositivos se puede controlar los procesos presentes en el sistema. La pantalla LCD forma parte del nivel de supervisión, ya que por medio de dicha pantalla se puede representar los datos generados por los niveles anteriores, en breves palabras este nivel busca brindar una interfaz intuitiva entre el proceso y el operario, permitiendo la supervisión completa de los procesos.

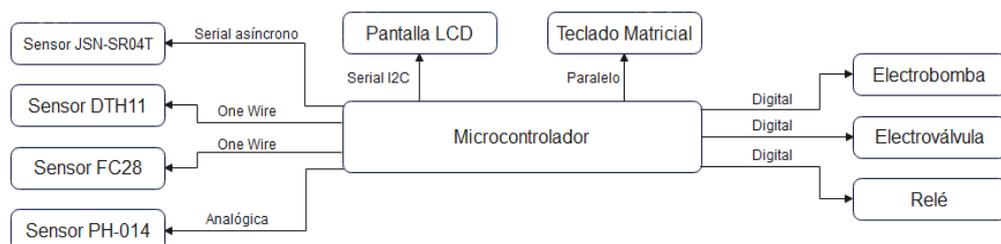
Figura 24: Arquitectura de Automatización



3.2.2. Red de comunicaciones

En este apartado, se especifica la red de comunicaciones del sistema de control, teniendo en cuenta los elementos presentes y la manera en que se comunican con el controlador, en este caso el Arduino MEGA.

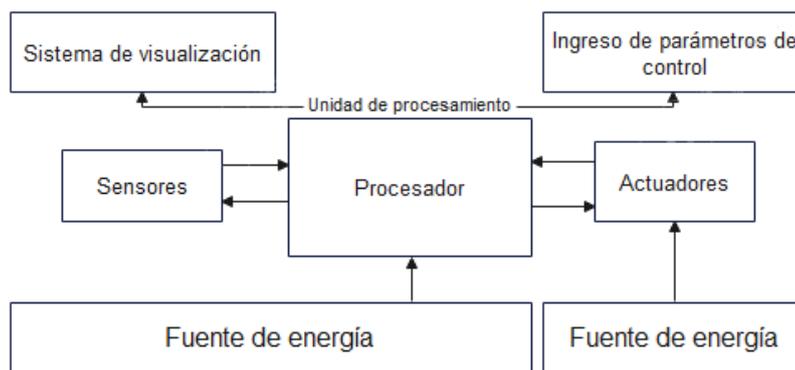
Figura 25: Red de Comunicaciones



3.2.3. Arquitectura hardware

La arquitectura hardware del sistema planteado, presenta todos los elementos físicos del mismo, en este caso el microcontrolador o la unidad de procesamiento, los sensores (DHT11, FC28, PH-014, JSN-SR04T), los actuadores (relé, electrobomba, electroválvula), el sistema de visualización que en este caso sería la pantalla LCD, y el ingreso de parámetros de control, el cual se refiere al teclado matricial mediante el cual se pueden cambiar el rango de valores de las variables del sistema.

Figura 26: Arquitectura Hardware del Sistema



3.3. Modelado del sistema

Realizar el modelo de un sistema es una herramienta esencial para indicar los requerimientos, actividades, interacciones, etc., mediante gráficos y esquemas que son de fácil comprensión.

3.3.1. Modelado UML

El lenguaje unificado de modelado es un instrumento que brinda la capacidad de desarrollar el sistema planteado de una manera organizada, para este trabajo específicamente se abarcarán los diagramas de casos de uso, diagrama de secuencia y diagrama de estados, ya que a través de estos se puede crear una estructura de diseño que comprende el sistema completo.

3.3.1.1. Diagramas de casos de uso

Basándose en los actores presentes en el sistema y las acciones que pueden realizar, se realizó el siguiente diagrama de casos de uso donde los actores del diagrama se denotan como usuario e invernadero, ya que se lo considera a tal como otro agente o actor, debido a que puede realizar acciones dentro del sistema. Es importante recalcar que se omite el actor de la persona que programó o diseñó el

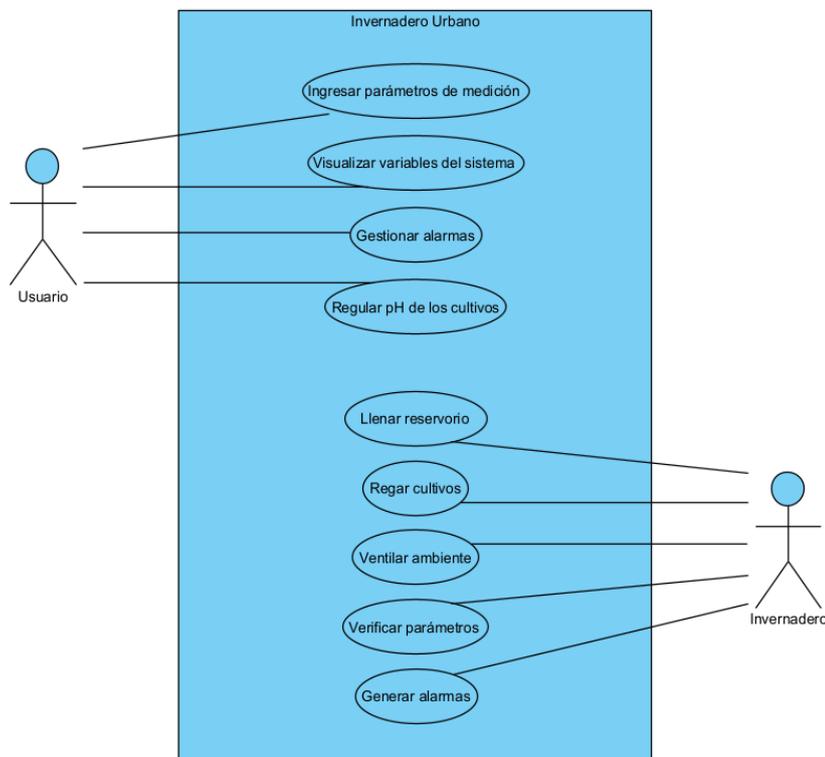
sistema, el cual puede definirse como técnico o algún otro nombre relacionado, ya que las acciones que puede realizar son similares a las del usuario, por lo que su análisis se considera redundante.

Tal como se observa en el siguiente diagrama (ver fig. 27) existen distintos casos de uso, los cuales se analizarán a continuación:

- **Ingresar parámetros de medición:** este caso de uso está relacionado con el actor denominado como usuario, ya que dicho actor debe ingresar los parámetros correspondientes a la temperatura, humedad y pH que posteriormente serán medidos en el sistema.
- **Visualizar variables del sistema:** la presente función o caso de uso se encuentra asociada con el usuario, ya que es éste el que podrá observar el valor de las variables medidas en el sistema, por lo tanto este actor puede analizar el comportamiento del sistema a través de los datos mostrados.
- **Gestionar alarmas:** el usuario que ha sido definido como un actor en el diagrama de casos de uso, puede gestionar las alarmas que el sistema arroja, teniendo la posibilidad de apagar la alarma en caso de que sea necesario.
- **Regular pH de los cultivos:** este caso de uso hace referencia a la acción de que el usuario tiene la posibilidad de agregar aditivos al fluido del reservorio o poder agregar materia orgánica o algún otro tipo de compuesto directamente a las cajas de cultivo para regular el pH de estas.
- **Llenar reservorio:** el presente caso de uso está asociado al invernadero, el cual está definido como un actor del diagrama, ya que en caso de que se detecte que el nivel del reservorio está bajo, el invernadero accionará la electroválvula a través del sistema, para así poder llenar el reservorio hasta un nivel normal.
- **Regar cultivos:** dicho caso de uso está relacionado con el actor denominado invernadero, ya que este puede accionar el sistema de riego por goteo, para así poder mantener una humedad relativa adecuada, en caso de que esta no esté dentro de un rango correcto.
- **Ventilar ambiente:** este caso de uso está relacionado con el actor denominado invernadero, el cual puede accionar la ventilación del invernadero a través del sistema, para mantener la temperatura dentro del invernadero en un valor que sea apto para el crecimiento óptimo de las plantas.

- **Verificar parámetros:** teniendo en cuenta lo mencionado en apartados anteriores en lo referente al funcionamiento del sistema, conociendo que este tiene un orden de análisis de variables; en este caso el agente o actor invernadero es aquel que puede iniciar o realizar esta acción.
- **Generar alarmas:** este caso de uso se basa en que el invernadero, como agente, puede generar alarmas y mostrarlas a través del sistema de visualización, para que la persona a cargo del invernadero pueda conocer el estado del sistema en determinado momento.

Figura 27: Diagrama de Casos de Uso del Sistema



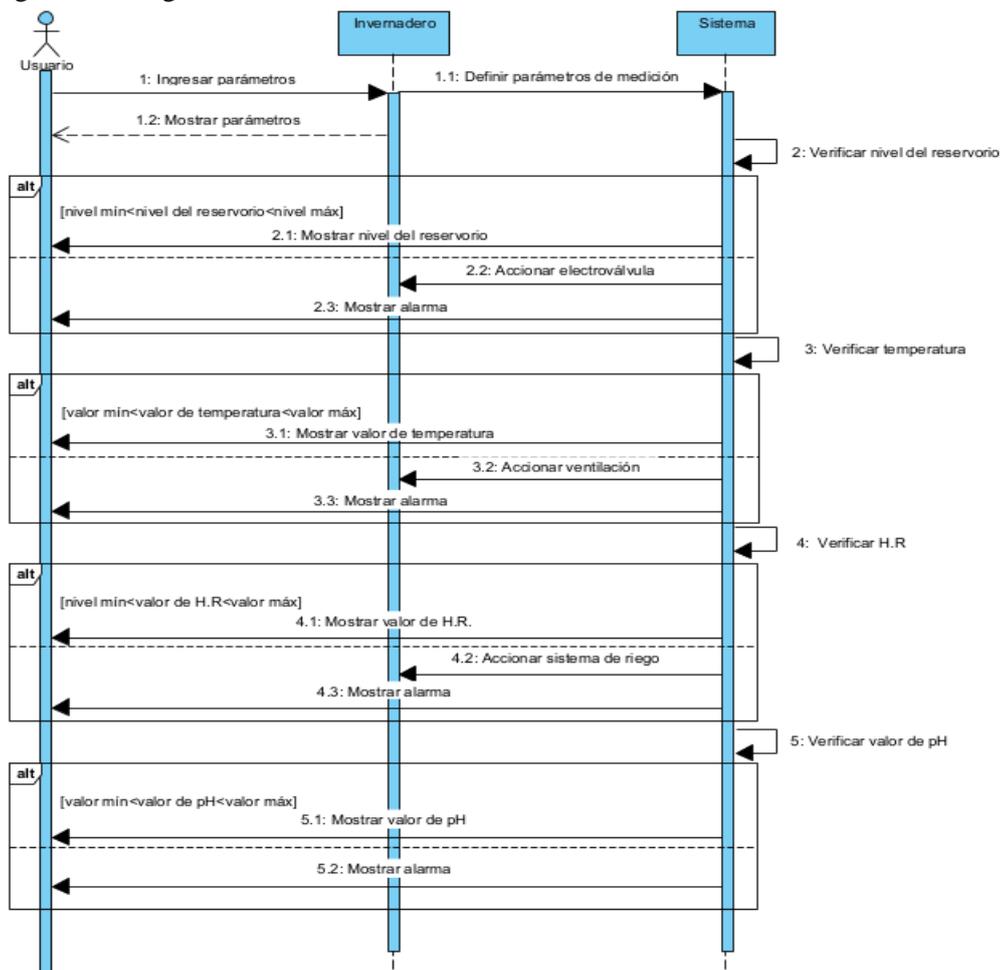
3.3.1.2. Diagramas de secuencia

Por medio de un diagrama de secuencia, se puede realizar un modelo mediante el cual se puede definir las acciones entre los objetos que conforman un sistema, mostrándolos en orden cronológico. Por lo tanto, en la fig. 28 se logra observar las interacciones y el orden de estas, y de esta manera lograr un mejor entendimiento del sistema, conocer de qué manera ocurren los sucesos y las respuestas o reacciones que existen ante dichos sucesos, en el caso específico de un diagrama de secuencia, las interacciones o sucesos se denominan mensajes.

Al definir como objetos de análisis, al usuario, al invernadero y al sistema, se realizó el siguiente diagrama de secuencias, en el que se emplean marcos de interacción de tipo alt (alternativo), el cual es similar a la estructura if-else, en la cual se ingresa el parámetro de análisis entre corchetes, para de esta manera poder detallar las distintas situaciones que se pueden presentar en el sistema, y las acciones posteriores a estas.

El sistema inicia con el ingreso de los parámetros de medición por parte del usuario, para posteriormente recibir una respuesta de parte del sistema, por lo que el usuario podrá visualizarlos de manera inmediata. De acuerdo con lo mencionado anteriormente el sistema estará analizando las variables constantemente, por lo que no necesita de alguna interacción proveniente de otro agente, es por esto que se plantean como automensajes; dichos datos obtenidos se enviarán al usuario al igual que las alarmas en caso de generarse.

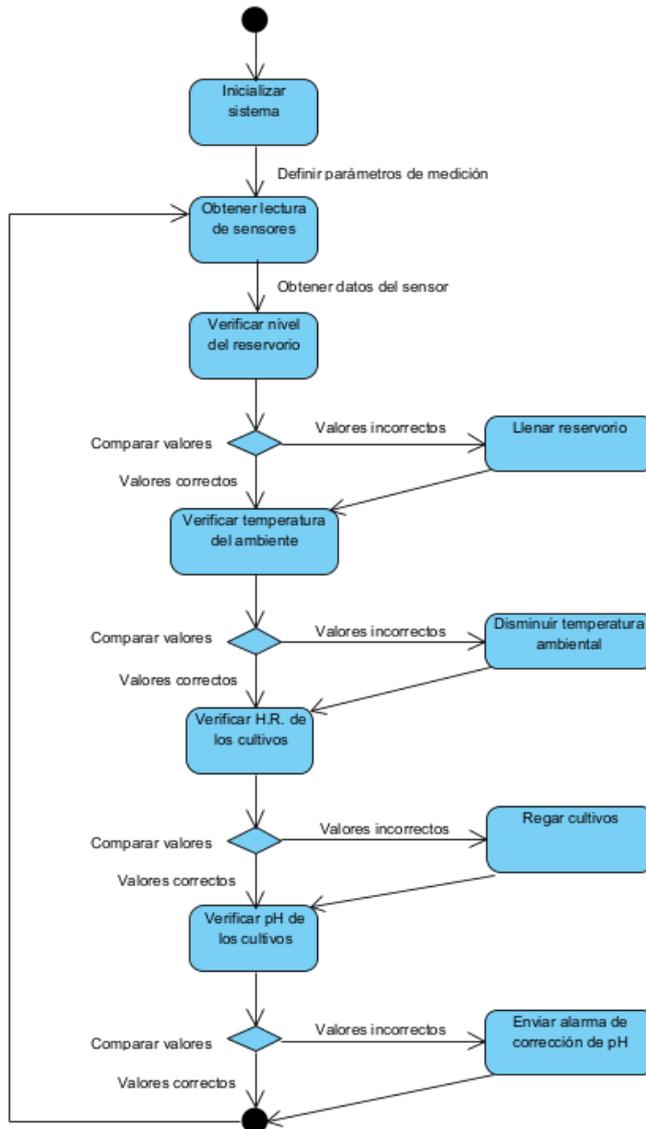
Figura 28: Diagrama de Secuencias del Sistema



3.3.1.3. Diagramas de estados

A través de un diagrama de estados o también conocido como máquina de estados, se pueden conocer los eventos en un sistema, las condiciones para que dichos eventos ocurran y también el efecto que producen. En la fig. 29 se muestra el diagrama del sistema, con cada uno de los estados que lo conforman, basándose en el diagrama de flujo presentado en la descripción del sistema.

Figura 29: Diagrama de Estados del Sistema



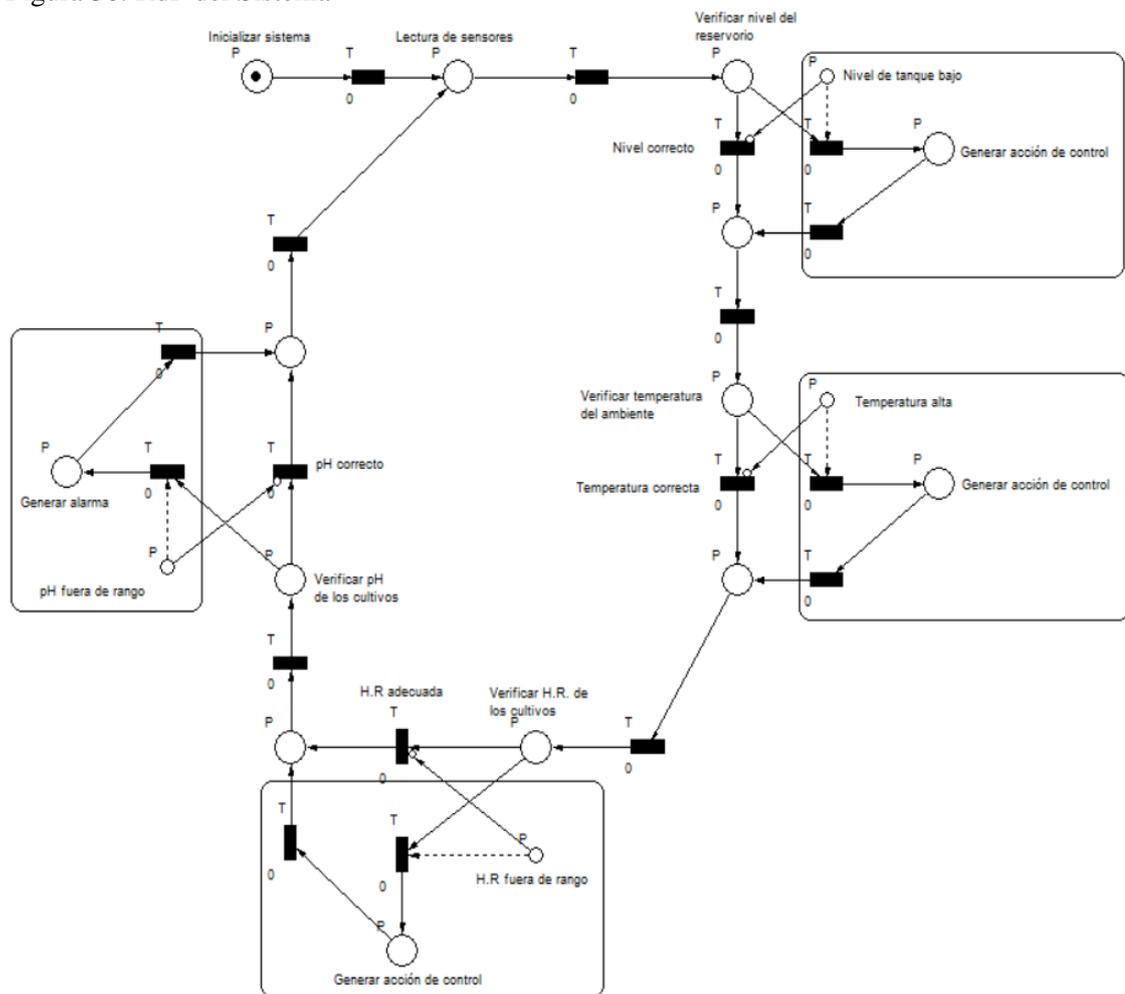
3.4. Redes de Petri

Las redes de Petri son una herramienta de modelado gráfico, específicamente de sistemas discretos. Por lo que se puede analizar la concurrencia de eventos, para garantizar la funcionalidad del sistema en caso de implementarlo. Teniendo en cuenta que se propone un sistema para un invernadero urbano, se puede realizar el modelado

de este a través de las redes de Petri, teniendo como punto de partida el diagrama de estados, identificando las marcas, transiciones, arcos y otros elementos que conforman una RdP.

Visual Object Net, es un software que permite modelar y simular RdP; en este caso el sistema de un invernadero urbano, tal como se puede observar en la fig.30 el modelo consta de trece lugares o también denominadas plazas, las cuales se encuentran separadas por las transiciones las cuales permiten el libre paso de los tokens a través del modelo.

Figura 30: RdP del Sistema



Para este caso se utiliza una unidad de tiempo genérica la cual no es de importancia, por lo que no se la define en el modelo; además dichas transiciones permiten conectar nuestro sistema a través de los arcos, los cuales indican la cantidad de tokens que podrán pasar al mismo tiempo por un arco, en nuestra RdP al no señalizar

el peso de cada arco se sobreentiende que solo podrá pasar un token por cada uno de ellos.

El modelo diseñado, posee seis acciones externas las cuales se denotan por los círculos de menor tamaño y que representan señales externas que pueden influir en el comportamiento de nuestro sistema (temperatura externa, humedad, etc.), dichas acciones externas utilizan arcos inhibidores, los cuales permiten dirigir el token a un lugar designado, ya que al generarse una acción externa y debido al funcionamiento de un arco inhibidor, se altera el transcurso normal de la red y se puede dar paso a nuevos lugares dentro de la red, en este caso lugares que representan las acciones de control del sistema.

El modelo representado, permite representar nuestro sistema de la manera que se ha descrito previamente, teniendo un funcionamiento normal cuando las variables del sistema tienen valores dentro del rango designado y dado el caso de que dichos valores no sean adecuados, se ejecutarán acciones de control con el fin de otorgar un sistema eficiente que cumpla con los requerimientos designados.

3.4.1. Matrices y evaluaciones de la RdP

Tal como se mencionó en el apartado anterior, una RdP además de ser una herramienta de modelado a través de la cual se puede representar la topología de un sistema, también es una herramienta matemática compuesta por lugares, arcos y transiciones, mediante la cual se puede comprobar el funcionamiento de un sistema, a través de valores obtenidos y elaboración de matrices, las cuales se representarán a continuación.

3.4.1.1. Matriz de Inhibición

La fig. 31 definida por la matriz de inhibición H comprueba que la RdP propuesta cumple como una red binaria, de esta manera se puede constatar que sólo existirá una marca en cada lugar. En la siguiente matriz se representan las plazas o lugares con la letra P y las transiciones con la letra T, cuando existe un 1, significa que dicho lugar está ocupado, al contrario, cuando existe un 0 el lugar está vacío; si existe un número diferente de 1 o 0 la red incumpliría con la propiedad de limitación, por lo que no sería segura.

Figura 31: Matriz de Inhibición H

		Inhibition matrix <i>H</i>																	
		T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17
P0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P7	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
P12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
P16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

3.4.1.2. Matriz de marcado

Tal como se puede observar en la fig. 32 al simular nuestra RdP se obtiene la matriz Marking, en la cual se puede encontrar que existe un único token de marcado en el lugar P_0 , ya que en el modelo existe un token inicial el cual se trasladará a través de la red por medio de los arcos y transiciones en el orden que se indicó en la fig. 21 siempre y cuando no exista alguna perturbación o acción que influya en el sistema. En caso de que se desee simular una acción externa al sistema, existirían tokens adicionales en los lugares P_3, P_7, P_{11} y P_{15} , ya que como se mencionó estos lugares representan perturbaciones, tal como se observa en la fig. 33.

Figura 32: Matriz de Marcado de la RdP

		Marking																	
		P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17
Initial	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Current	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 33: Matriz de Marcado al Simular Perturbaciones en la RdP

		Marking																	
		P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17
Initial	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Current	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0

3.4.1.3. Transiciones habilitadas

Al igual que en punto anterior, existirá una sola transición habilitada en T_0 tal como se observa en la fig. 34, ya que es la transición que le sigue al lugar P_0 donde existe el token inicial de la red; en este caso se omite la matriz de transiciones habilitadas cuando se simula perturbaciones, ya que mostrarían las transiciones que le siguen a los lugares marcados en la fig.33.

Figura 34: Transiciones Habilitadas de la RdP

Enabled transitions																	
T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17
yes	no	no	no	no	no	no	no	no									

3.4.1.4. Análisis de espacio de estados

Este punto es de suma importancia para el análisis del sistema, ya que a través de esta información se puede determinar que la RdP cumple satisfactoriamente con los requerimientos de limitación, seguridad y que no posee puntos muertos. En la fig. 35 se muestran los resultados de la simulación donde muestra que la propiedad de Limitabilidad se cumple, denotándola como verdadero, ya que sólo existirá un token a la vez. La propiedad de seguridad se cumple al igual que la anterior, ya que la RdP satisface la propiedad de alcanzabilidad, ya que todas las plazas o lugares del modelo serán alcanzadas por una marca, por lo tanto, ninguna plaza o lugar estará de más o quedará en blanco. La última propiedad denominada Deadlock, la cual es falsa confirma que nuestro sistema no posee puntos muertos, lo que también garantiza que la red no tiene lazos infinitos, lo que ocasionaría que el sistema diseñado quede bloqueado en algún punto; por lo tanto corrobora que nuestra RdP es viva.

Figura 35: Análisis de Espacio de Datos de la RdP

Petri net state space analysis results

Bounded	true
Safe	true
Deadlock	false

3.5. Análisis para la implementación del sistema

A partir del modelado UML se ha proyectado y modelado el sistema propuesto de una forma sistemática y técnica, de tal forma que se ha logrado establecer todos los parámetros y requerimientos del sistema, considerando los enfoques de los diferentes

actores. Las simulaciones de la red de Petri, mediante el modelo de estructura de red, permite verificar propiedades de suma relevancia, lo cual garantiza la buena formación del sistema y su funcionalidad. Una vez se ha alcanzado estas instancias del diseño, se requiere abordar la implementación del sistema, para lo cual se ha propuesto y analizado las arquitecturas que definen cada uno de los aspectos formales del mismo. La implementación, dado las circunstancias y limitaciones actuales no se implementará físicamente, por lo que se limitará al análisis del programa que se rige a la estructura y funcionalidad definidas en las diferentes etapas desarrolladas.

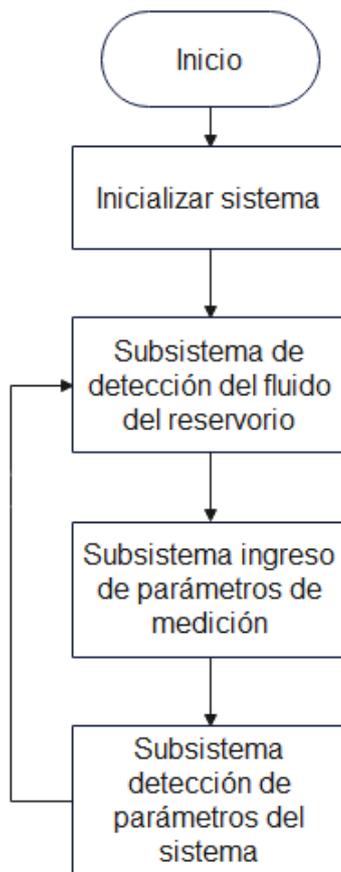
La implementación parte con el diseño del programa que reside en el dispositivo controlador que en este caso es un microcontrolador de 8 bits. Para el análisis del programa se desarrolla los diagramas de flujo de las diferentes instancias de este, que definen de forma detallada su funcionamiento. La escritura del programa se puede hacer en cualquier lenguaje de programación de microcontroladores, de los cuales el más recomendable es el lenguaje C/C++, por sus características de permitir con sus instrucciones poder trabajar a bajo nivel, además de la facilidad que presta para controlar a nivel de bits los pines del dispositivo. Cabe recalcar que, realizados los modelados y simulaciones del sistema, por su nivel de detalle, puede ser programado utilizando otros dispositivos como pueden ser autómatas programables o a través de control directo por computadora.

Para iniciar el análisis del programa del sistema y con el propósito de lograr un mayor detalle de implementación, será necesario subdividir el sistema, para lograr subsistemas más sencillos de abordar y analizarlo. Por ende, se ha considerado tener los siguientes subsistemas:

- Subsistema de detección del fluido del reservorio
- Subsistema de ingreso de parámetros de medición
- Subsistema de detección de parámetros del sistema

Cada uno de los subsistemas mencionados corresponden a partes indispensables para el funcionamiento correcto del sistema, que pueden ser analizados y probados individualmente antes de su acople con el sistema general. En la fig. 36 se puede ver un diagrama que representa el sistema general.

Figura 36: Diagrama del Sistema General



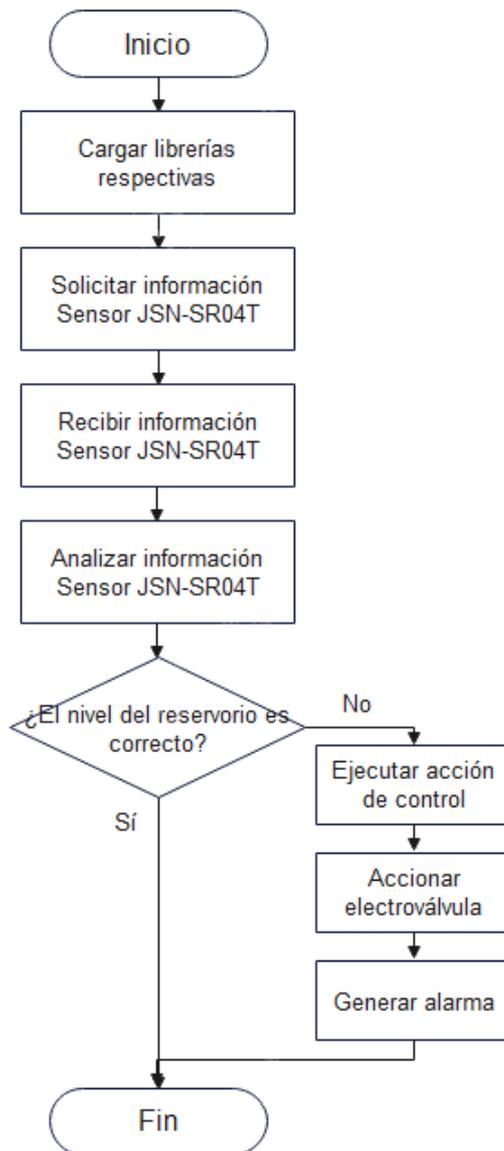
3.5.1. Subsistema de detección del fluido del reservorio

El subsistema presente es el encargado de verificar que el nivel del fluido del reservorio se encuentre entre los parámetros establecidos; con respecto a los parámetros de medición es de suma relevancia indicar que se omitirá la solicitud de ingreso de parámetros en lo referente al reservorio, ya que dichos parámetros dependen directamente de la posición de los sensores y sólo existe nivel bajo y alto respectivamente, además de que dichos niveles no cambiarán a menos que se reemplace el reservorio por uno de mayor o menor volumen o de estructura distinta; lo cual en caso de suceder, será a largo plazo.

Este subsistema se ejecuta primero, debido a la razón mencionada en el párrafo anterior y además de que el correcto funcionamiento del sistema de riego del invernadero depende del reservorio mientras que el resto de las funciones del invernadero se ejecutan directamente a través del microcontrolador. Una vez inicializado el sistema, se cargarán las librerías respectivas para posteriormente recibir la información proveniente del sensor JSN-SR04T y así detectar el nivel del reservorio

para ejecutar una acción de control, la cual en este caso es accionar la electroválvula y llenar el reservorio para garantizar un correcto funcionamiento del sistema.

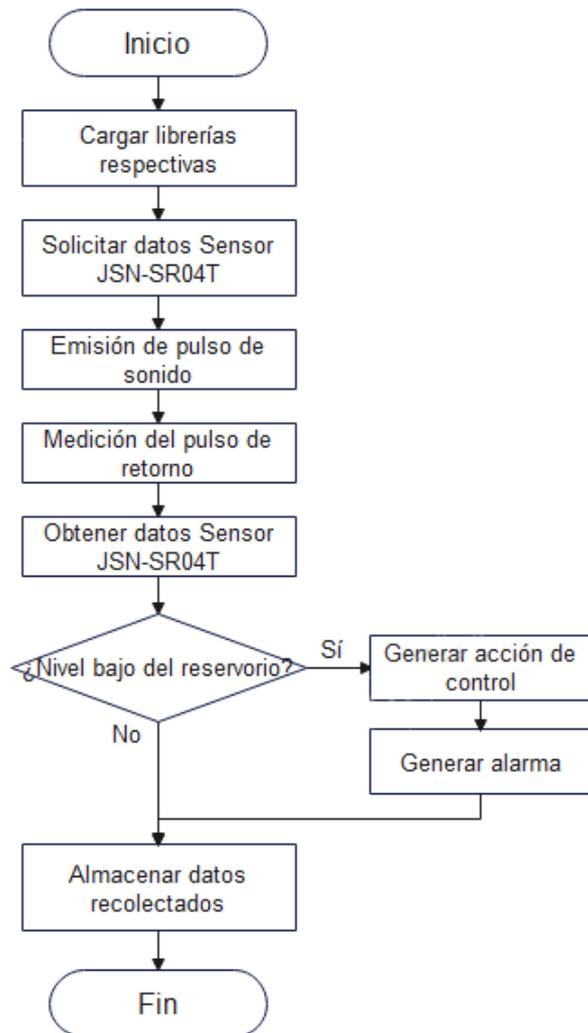
Figura 37: Diagrama del 1er Subsistema



3.5.1.1. Diagrama de flujo del sensor de nivel del reservorio

La importancia de este sensor reside en que para que el sistema de riego por goteo funcione adecuadamente, se necesita un nivel correcto del reservorio; en caso contrario, no se podrá mantener un ambiente controlado dentro del invernadero, específicamente no se podrá mantener el porcentaje de humedad relativa dentro de los parámetros designados, en dicho caso se genera una alarma y por ende una acción de control mediante la cual se podrá mantener el nivel del reservorio en un rango adecuado.

Figura 38: Diagrama de flujo del Sensor de Nivel del Reservorio



3.5.2. Subsistema de ingreso de parámetros de medición

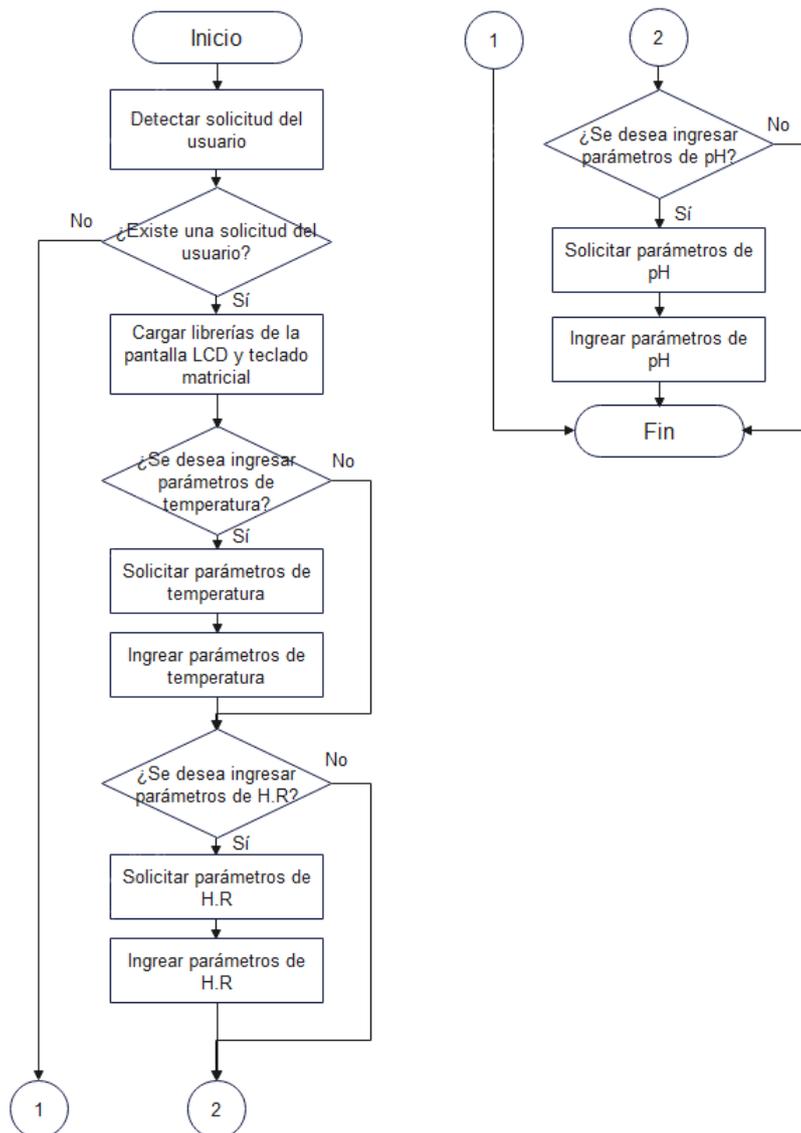
El subsistema mencionado se basa en la recepción de los parámetros de medición que el siguiente subsistema detectará y analizará. En este subsistema es importante destacar que dicho ingreso de parámetros se realizará siempre y cuando el usuario lo solicite, ya que evidentemente, no es eficiente que el usuario deba ingresar datos a cada instante. La función principal de este subsistema es explicar de qué manera y que proceso se seguirá para poder ingresar los parámetros que se evaluarán en el sistema posteriormente.

Abarcando más detalles del subsistema, este se iniciará siempre y cuando el usuario realice la solicitud para cambiar los parámetros, en caso de no hacerlo, el sistema seguirá analizando los datos recogidos por los sensores cuyo funcionamiento se explicará en el siguiente punto. Cuando se realice la solicitud de ingreso de

parámetros se desplegará un menú en la pantalla LCD y mediante el teclado matricial se podrá definir los parámetros de medición de cada variable, para los cuales se debe definir un valor máximo y un valor mínimo, luego de ingresar los parámetros, estos se mostrarán en la pantalla LCD, para comprobar que han sido definidos correctamente.

Para ingresar los parámetros se debe tener en cuenta los sensores con los que cuenta el sistema planteado, ya que estos tienen rangos de medición y límites tanto mínimos como máximos, por lo que ingresar parámetros que se encuentren fuera del rango de medición de los sensores radicará en el mal funcionamiento del sistema general y por ende perjudicará en el correcto crecimiento de las plantas del invernadero.

Figura 39: Diagrama del 2do Subsistema

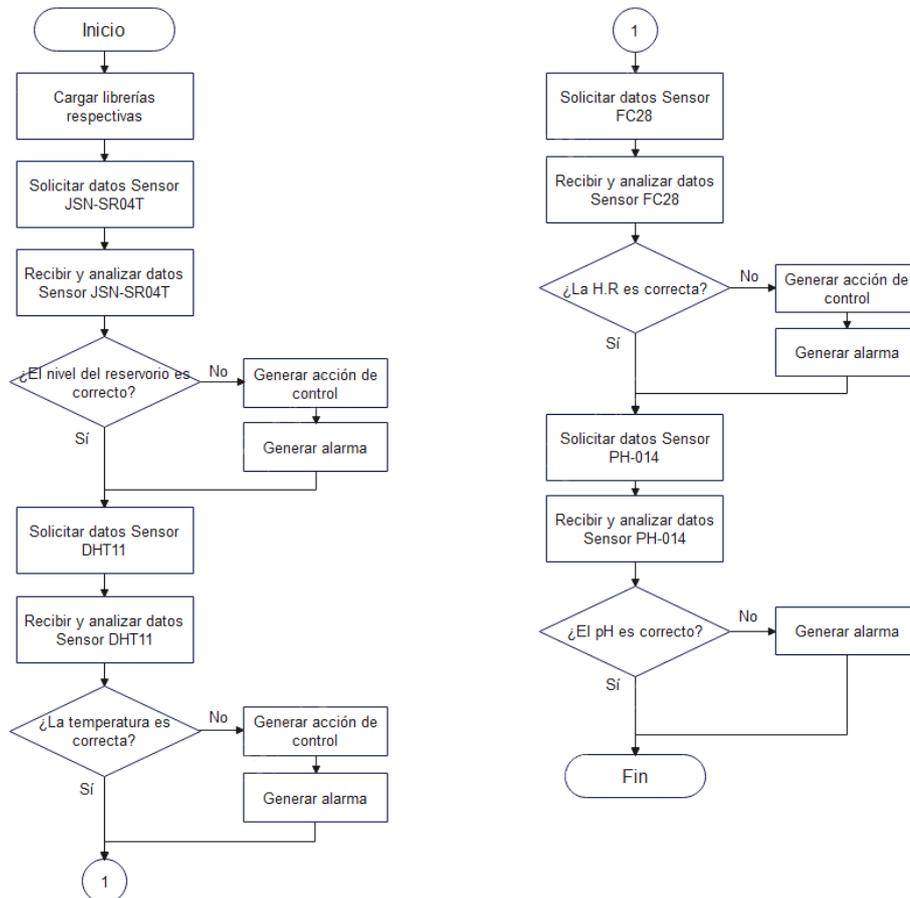


3.5.3. Subsistema de detección de parámetros del sistema

La detección de parámetros del sistema hace referencia a un subsistema que se encarga de solicitar, recibir y analizar los datos obtenidos de los sensores presentes en el invernadero urbano como el DHT11, FC28, PH-014 y el JSN-SR04T, todos estos sensores tienen sus propias librerías y drivers que permiten adquirir datos y tomar decisiones de control a través de microcontroladores u otros dispositivos.

Los primeros sensores que detectan los parámetros definidos en el sistema son los JSN-SR04T, estos están encargados de medir el nivel del reservorio del sistema, consiguientemente se detecta la temperatura a través de un sensor DHT11, luego se recibe los datos obtenidos a través de los sensores FC28 y por último la información que otorgan los sensores PH-014, los cuales son utilizados para medir las variables de nivel, temperatura, humedad relativa y pH respectivamente. Este subsistema permite adquirir la información necesaria que permite realizar acciones de control, a través del microcontrolador, para tener un sistema que funciona de manera eficiente y que cumple con los requerimientos de este.

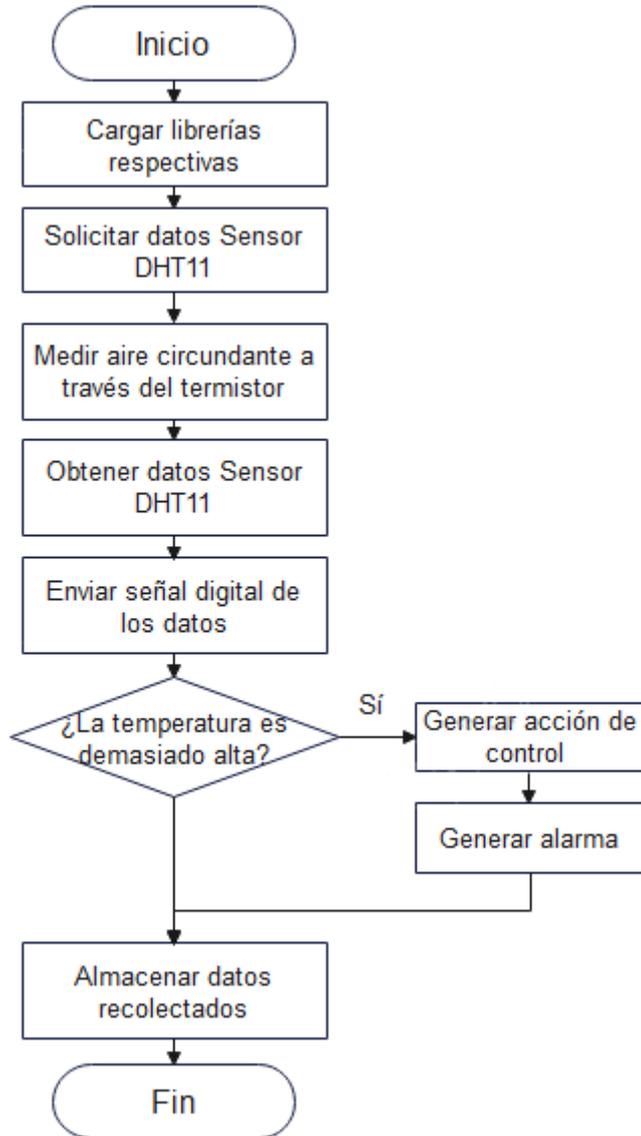
Figura 40: Diagrama del 3er Subsistema



3.5.3.1. Diagrama de flujo del sensor de temperatura

La detección de la temperatura del ambiente en el invernadero urbano permite verificar si dicha variable está dentro de los parámetros establecidos y en caso de no estarlo, se podrá ejecutar acciones de control con el fin de corregir la diferencia entre la variable medida y los valores de referencia. Un ambiente controlado permite que los cultivos se desarrollen de la mejor manera, garantizando productos de calidad.

Figura 41: Diagrama de Flujo del Sensor de Temperatura

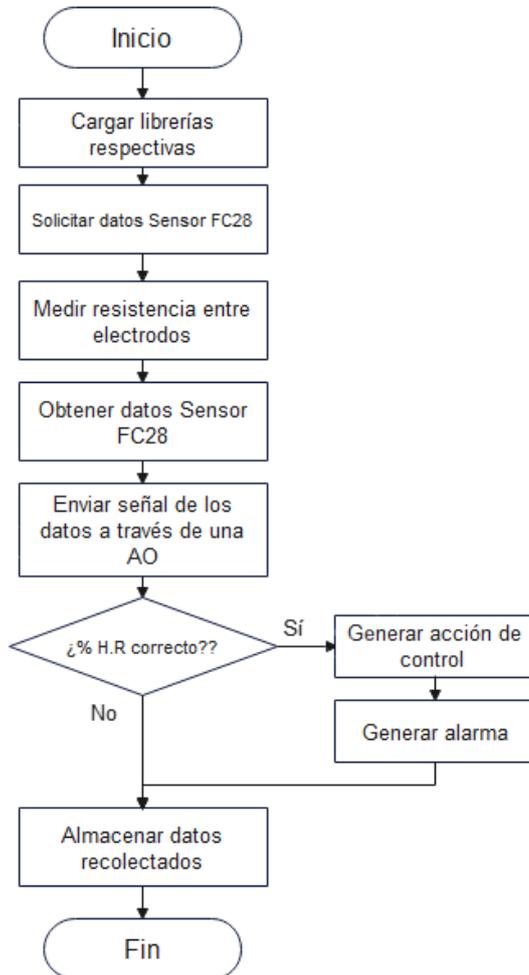


3.5.3.2. Diagrama de flujo del sensor humedad relativa

El porcentaje de humedad relativa es uno de los puntos más importantes del sistema, ya que su control efectivo garantiza un suelo adecuado para el crecimiento de las plantas del cultivo, por lo que su correcta detección radica en el sensor FC28, el cual mide la humedad relativa a través de dos electrodos resistivos. En el sistema

existen cuatro cajas de cultivo, cada una de estas cajas posee un sensor FC28, para poder supervisar individualmente cada una de estas y poder activar el sistema de riego por goteo cuando sea necesario.

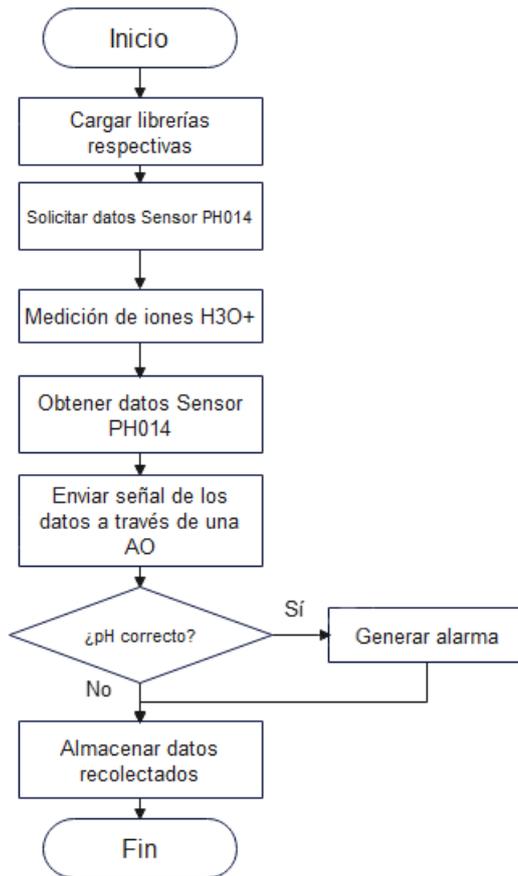
Figura 42: Diagrama de Flujo del Sensor de H.R



3.5.3.3. Diagrama de flujo del sensor de pH

El pH del suelo es un factor muy importante para permitir el desarrollo correcto de los cultivos, por lo que se utilizan sensores *PH – 014*, de esta manera se puede supervisar y controlar dicha variable. Dichos sensores tienen controladores los cuales ofrecen valores analógicos de medición. Un punto importante en su instalación es que debe introducirse en un suelo libre de obstáculos para evitar dañar la sonda de medición. En caso de que el valor de pH no sea el adecuado, se enviará una alarma al sistema de visualización, para que el usuario corrija el valor de pH a través de agregados o aditivos.

Figura 43: Diagrama de Flujo del Sensor de pH



3.6. Análisis del funcionamiento del sistema

Lo primero en tener en cuenta para el siguiente análisis, es el funcionamiento básico del sistema planteado, tal como se observa el diagrama de flujo de la fig. 21 en la que se muestra los procesos existentes en el sistema, empezando por la inicialización del sistema en la cual se cargan las librerías y drivers que son esenciales para el funcionamiento correcto de los elementos del sistema, una vez realizados estos procesos se inicia por la verificación del nivel del reservorio a través de los sensores ultrasónicos JSN-SR04T, ya que se necesita del reservorio para poder garantizar el correcto funcionamiento del sistema de riego, por lo tanto, hasta que el nivel del reservorio no sea el adecuado, no se podrá iniciar con el funcionamiento completo del sistema.

El siguiente punto es el de analizar las otras variables del sistema, teniendo en cuenta que para este paso se necesita que los parámetros de medición estén definidos previamente; una vez obtenidos los datos e información de los sensores, se procede a analizar los resultados obtenidos, para poder definir si las variables del sistema se

encuentran dentro de los rangos permitidos y mostrarlas en el sistema de visualización; para dichos procesos de parametrización y visualización se hace uso de una pantalla LCD y un teclado matricial.

A partir de este punto, se procede con la verificación de la temperatura ambiental a través del sensor DHT11, dicha temperatura no podrá ser menor a $7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ni mayor a $27\text{ }^{\circ}\text{C}$; después se tomarán los datos de los sensores FC28 los cuales son los encargados de obtener el porcentaje de humedad relativa del suelo, cabe recalcar que existirá un sensor en cada caja de cultivo, cuatro específicamente, teniendo como valor mínimo un porcentaje de 60 % y como valor máximo 65 %; el último análisis corresponde al pH, la información del pH será recaudada a través de los sensores PH-014, al igual que los sensores de humedad relativa, existirá un sensor de pH para cada caja de cultivo presente en el invernadero, dicha variable no podrá ser menor de 5.5 ni mayor a 6.8, todos estos parámetros han sido definidos para cultivo de plantas de rábano.

3.7. Evaluación del sistema

En base al modelo planteado en la red de Petri referente al sistema propuesto y a través de la simulación de este se obtuvieron matrices y parámetros mediante los cuales se pudo determinar que el funcionamiento y desempeño del sistema será el adecuado.

Una RdP también es una topología del sistema de la que se obtienen muchos datos acerca de la estructura y comportamiento del sistema; existen muchas propiedades que se pueden obtener mediante el diseño de redes de Petri, aunque existen algunas las cuales denotan claramente que el sistema cumple con los requerimientos designados, entre las cuales se encuentran la alcanzabilidad, vivacidad, red conforme, red binaria, entre otras; las cuales serán sujetas a análisis en los siguientes puntos de este apartado.

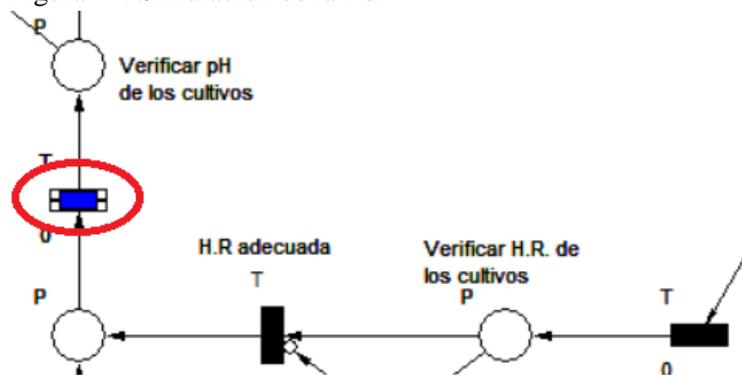
3.7.1. Red limitada

Una red limitada es aquella en la que se indica la capacidad de marcas o tokens en cada lugar de la red, por lo que en el caso de que la capacidad sea uno, no puede existir más de un token o marca en ninguna parte de la red; en caso de implementación física del sistema, esta propiedad es muy importante, recordando que el token indica

la señal que transcurre a través de nuestra red, ya que cada plaza o lugar cuenta con memorias de una capacidad definida. Otra razón de la importancia de una red limitada es que, al definir la capacidad de una plaza o lugar, se garantiza que la red no tendrá desbordamientos o puntos muertos, lo que radica en el mal funcionamiento del sistema e incluso en la aparición de bucles infinitos, en los cuales la RdP no podrá avanzar a otra plaza o sección de la red.

Con respecto a la simulación se puede indicar la cantidad de tokens que pueden pasar por un arco, cuando el arco no indica el número de tokens, se sobreentiende que sólo podrá pasar uno, por lo que de esta manera se puede garantizar la limitabilidad de la red, siempre y cuando la topología de esta se encuentre realizada de manera correcta.

Figura 44: Simulación de la RdP



3.7.2. Red binaria

Esta propiedad está relacionada con la anterior, ya que tiene que ver con la limitabilidad de la red; aunque en este caso la capacidad o límite de cada plaza será uno, y siempre será uno a través de todo el diseño de la red. Es de suma importancia para el diseño de procesos automatizados, en los cuales se designan procesos y subprocesos que seguirán un orden específico dependiendo de las condiciones presentes en el sistema.

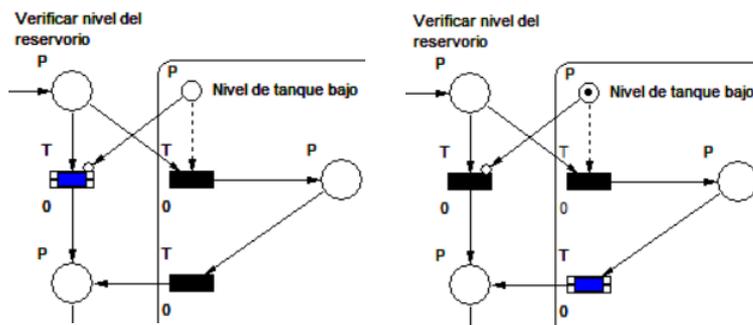
Tal como se observa en la fig. 44, dicha red es limitada a uno, por lo que la marca o token irá a las plazas designadas en el proceso, es decir que cuando no existan perturbaciones, el token se desplazará por las plazas que indican el funcionamiento normal, y cuando existan dichas perturbaciones, el token irá a los lugares que se diseñaron para ejecutar acciones de control; omitiendo el transcurso normal del proceso.

3.7.3. Vivacidad

La vivacidad en una RdP indica que la red no posee puntos muertos y se encontrará activa en todo momento, la RdP diseñada tal como se observa la propiedad Deadlock en la fig. 35 comprueba que no posee puntos muertos, por lo que no tiene obstáculos que imposibilitan a la red de realizar transiciones a otros lugares. Una red viva garantiza que sin importar las transiciones que se ejecuten, siempre estará activa.

En la fig. 30 se puede observar la RdP diseñada, en la cual existen varios lugares o plazas dependiendo del funcionamiento de la red; de igual manera se puede observar que se colocaron plazas adicionales a manera de señal externa para poder simular perturbaciones en el sistema, sin importar las transiciones que se realicen, la marca o token, a través de los arcos, podrá posicionarse en otros lugares sin entrar en puntos muertos. En lo referente a la simulación, se utilizaron arcos inhibidores y arcos de prueba para poder simular las transiciones que ejecutarán en la red. En la fig. 45 se podrá observar las posibles transiciones dentro de la RdP diseñada, mostrando que siempre estará activa sin importar las condiciones de esta.

Figura 45: Transiciones de la RdP



3.7.4. Red conforme

Una red conforme es aquella que es binaria y viva o que cumple con la propiedad de vivacidad, dichas propiedades han sido explicadas en los dos puntos anteriores. A breves rasgos, una red conforme es aquella que es 1-limitada y que no posee puntos muertos. En la fig. 30 se observa el diseño de la RdP en la que se puede observar que dicha red cumple con las condiciones necesarias para ser conforme; por lo que se puede intuir que la red puede estar activa en todo momento, sin importar las transiciones que ocurran, y que además siempre existirá un solo token o marca en cada plaza, evitando el desbordamiento del sistema y permitiendo que la red funcione bajo las condiciones planteadas.

3.7.5. Red conservativa

Para que una red cumpla o tenga la propiedad de ser conservativa, se requiere que en ningún momento de la ejecución el número de marcas cambie. Esto quiere decir que, si se inicia la RdP con una marca, todas las plazas o lugares del modelo tendrán una sola marca. Por lo tanto, una red es conservativa cuando para cualquier tipo de lugar o plaza, el marcado será el mismo en cada uno los lugares que conforman la RdP; por lo que el número de marcas será constante en todo momento. La RdP referente al invernadero urbano es conservativa, ya que, para cada lugar designado en la red, solo podrá existir una marca, sin importar las transiciones que se ejecuten, ni las señales externas que se puedan presentar a lo largo de la actividad de la RdP.

3.7.6. Red interpretada

El modelo de la red de Petri propuesta es interpretada, ya que esta se puede asociar como propio elemento descriptivo de la composición del sistema, de tal manera que una condición física y acciones se representan a través de transiciones y lugares respectivamente. Por ende, una RdP interpretada se puede emplear para el modelado de un sistema físico, siendo así una propiedad que permite la implementación de una red.

En la red de la fig.30 se puede constatar lo mencionado en este apartado; cuando se mencionan condiciones como x variable correcta, en la RdP se representan a través de transiciones y cuando se trata acciones como verificar x variable o generar alarmas, se representan a través de lugares; por lo que se puede concluir que la RdP del sistema es interpretada.

3.7.7. Reversibilidad

La reversibilidad es una propiedad que implica que una vez que empieza el proceso, toda marca o token puede regresar al lugar inicial. En el caso de la RdP diseñada no cumple con esta propiedad, debido a que cuando el sistema cumple el ciclo de trabajo regresa a la segunda plaza denominada lectura de sensores, esto ocurre ya que un sistema de control automatizado no debe inicializarse a cada instante, ya que no sería eficiente y requeriría más recursos de los necesarios. Es por esto la red planteada no cumple con esta propiedad y no regresa en ningún momento a la plaza denominada inicializar sistema.

3.7.8. Alcanzabilidad

Esta propiedad indica que todos los lugares o plazas de la RdP serán alcanzados por una marca mientras la red esté activa. Por lo tanto, todas las plazas definidas en el modelo de la red serán alcanzables por una marca o token a partir de la marca o token iniciales. En la RdP propuesta, se observa un total de 13 lugares, haciendo caso omiso de los lugares que simulan señales externas, todos los lugares de la red podrán ser alcanzados por un token ya sea en el funcionamiento normal del sistema, o en los lugares que forman parte de las acciones de control, que simulan los procesos que se efectuarán cuando existan perturbaciones.

CAPÍTULO IV

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Este capítulo busca mostrar y resaltar de forma resumida los resultados alcanzados en el presente trabajo de investigación y que está relacionado con los modelados, arquitecturas, diseños y redes propuesta, que fueron rigurosamente analizados a través de diferentes métodos gráficos y matemáticos, para lograr demostrar el cumplimiento de los requisitos funcionales y el cumplimiento de los objetivos, tanto generales como específicos, y demás puntos relevantes de este trabajo.

4.1. Presentación de resultados

En los siguientes puntos se abarcará de manera más específica, los resultados obtenidos en capítulos anteriores, ya sea el estado del arte, arquitecturas, modelado UML, redes de Petri, diagramas o procesos; para de esta manera poder detallar puntos de carácter importante que son relevantes en este proyecto.

4.1.1. Resultados del estado del arte

El estado del arte permitió resumir trabajos de investigación, mediante los cuales se pudo generar nuevas ideas o tener un punto de vista de lo que se ha realizado en torno al área de estudio. Actualmente existen pocos documentos académicos enfocados al diseño de invernaderos urbanos; por lo que, el diseño de un invernadero urbano, tal como el presente trabajo, permitió implementar procesos y funciones que garantizan un ambiente controlado para el sembrío de cultivos.

Entre los trabajos mencionados en el estado del arte, investigaciones tales como la de (Arámbulo Marin & Salazar Tapia, 2017) fueron aportes importantes para el presente trabajo de investigación, ya que propone un sistema de riego automatizado, haciendo uso de dispositivos como sensores y microcontroladores, mediante los cuales se logra reducir el consumo de recursos hídricos sin afectar en el crecimiento de los cultivos. Otro trabajo relevante es el de (Kumar et al., 2021), en el cual se propone un sistema de control y supervisión de parámetros ambientales que influyen en el crecimiento de cultivos, tales como la temperatura o humedad; de tal manera que se ofrece un sistema que incrementa el rendimiento de cultivos en comparación a la

agricultura convencional, que a pesar de ser efectiva, no es eficiente ya que requiere de periodos largos de tiempo.

4.1.2. Resultados de las arquitecturas

En sistema propuesto cuenta con el diseño de arquitecturas de: automatización, hardware o la red de comunicaciones; las cuales constituyen pilares principales para el trabajo presente, puesto que, en ellos se mencionan los dispositivos y componentes utilizados, su disposición, interconexión, interacción, y más detalles esenciales para cualquier tipo de sistema automatizado. Por lo que a continuación se mencionarán los resultados de las arquitecturas propuestas.

- **Arquitectura de automatización:** en esta arquitectura se organizó cada uno de los elementos del sistema, basándose en la conocida pirámide de automatización; teniendo tres niveles los cuales son el de actuadores y sensores, control y supervisión, en los que cada uno cuenta con los elementos correspondientes, permitiendo tener una idea general del sistema.
- **Red de comunicaciones:** la arquitectura de red de comunicaciones permitió establecer la forma en que los dispositivos del sistema se comunicarán entre ellos. Se propuso una arquitectura de comunicación donde se organizan y distribuyen los diferentes protocolos de comunicación, entre las cuales se tiene: comunicación serial *I2C*, *One Wire*, analógica y digital; siendo un esquema el cual es de suma importancia en caso de implementación física.
- **Arquitectura hardware:** la arquitectura hardware del sistema propuesto, se basó en el elemento principal, que es la unidad de procesamiento; a partir de la cual se especificó los dispositivos como sensores, actuadores, entre otros; en las que se indicó la disposición de estos para tener una idea clara de la distribución del sistema lo que facilitó el desarrollo de estructuras de control o subsistemas.

4.1.3. Resultados del modelado UML

El modelado UML permitió realizar diagramas que facilitaron el desarrollo de futuros diagramas y subsistemas del sistema general. El diagrama de casos de uso permitió tener una idea clara de los actores presentes en el sistema y las acciones que pueden realizar o los casos de uso que posee cada uno de ellos; por lo que definió las funciones del sistema y hacia qué actor se encuentran enfocadas. El segundo diagrama

que se realizó fue el diagrama de secuencias, mediante el cual se logró identificar los mensajes que existen dentro del sistema, la manera en que interactúan con los actores del designados y sobre todo ayudó a definir un orden cronológico de los sucesos que ocurrirán en el transcurso del sistema planteado. Por último, el diagrama de estados o máquina de estados, a través del desarrollo de este, se logró definir los estados que pueden surgir en el sistema y sobre todo identificar las transiciones o acciones que harán que el invernadero entre en un estado específico.

4.1.4. Resultados del modelado de la RdP

Los diagramas UML fueron la base para el posterior desarrollo de la red de Petri, principalmente del diagrama de estados, ya que dicho diagrama es de suma importancia para definir las plazas y transiciones de la RdP. El análisis de las propiedades y de las matrices que surgen a partir de la red diseñada, son un claro indicativo de que este proyecto de investigación cumplirá con los requerimientos planteados al principio del documento. Entre las principales propiedades de la red se encuentran: limitabilidad, vivacidad, red binaria, red conforme, etc. Dichas propiedades radican en un sistema eficiente sin importar las condiciones externas que pueden surgir, además de que el resultado de las simulaciones corroboró los datos obtenidos a partir de las matrices analizadas.

4.1.5. Resultados de la implementación

La implementación del invernadero urbano se orientó a la elaboración del diagrama de flujo que controla el programa y reside en el microcontrolador de la placa principal, basada en un dispositivo de 8 bits. Para facilitar el análisis del sistema, se propuso la subdivisión del invernadero urbano en tres subsistemas, lo que permitió abordar con mayor detalle cada una de las partes. El planteamiento de los subsistemas del invernadero urbano resultó en el diseño de los diagramas de flujo de cada uno de subsistemas que forman parte del funcionamiento principal del invernadero urbano, cuyo programa será el encargado de gobernar el sistema. De esta manera se definió los procesos que ocurrirán durante el ciclo de trabajo del sistema. Dentro de cada subsistema existen procesos que garantizan el funcionamiento correcto de estos; por lo tanto, se detalló el funcionamiento de dichos procesos en los respectivos diagramas de flujo, principalmente de los sensores que son parte de los subsistemas designados.

Por ende, la implementación del sistema radicó en la estructura correcta del sistema, y en el diseño de subsistemas que facilita el entendimiento del cómo funciona el invernadero urbano.

4.2. Discusión de resultados

La discusión de los resultados obtenidos permite determinar si estos cumplieron con los requerimientos planteados inicialmente y los objetivos de la investigación, por lo que es un punto muy importante, ya que además se indica el resultado final de la investigación para definir si se logró una solución adecuada al problema de investigación del proyecto presente.

4.2.1. Discusión del cumplimiento de los requisitos funcionales

Teniendo en cuenta los requisitos funcionales del sistema y las funciones principales y secundarias de este, se puede identificar si el sistema propuesto cumple y posee dichas funciones. El diseño del invernadero urbano busca brindar un ambiente controlado que brinde las condiciones adecuadas para el crecimiento óptimo de los cultivos del invernadero; dicho ambiente controlado se obtuvo gracias a la presencia de varios sensores y actuadores, cuya arquitectura ha sido definida y analizada previamente; por lo que una vez diseñado el sistema como tal y conociendo la estructura que posee, se logra confirmar los siguientes puntos:

- El sistema de riego por goteo, mediante el accionamiento de electrobombas, además de disminuir el consumo de recursos hídricos en comparación con otros sistemas de riego, logra suministrar de agua a las cajas de cultivo del invernadero de manera eficiente y controlada.
- La supervisión del invernadero, la cual se realiza a través de sensores entre los cuales se tiene el DTH-11, FC28, JSN-SR04T y PH0-14, permite vigilar constantemente las variables presentes en el sistema, para posteriormente mostrarlas oportunamente en la pantalla LCD que consta el sistema.
- El proceso control de la humedad relativa del suelo, mediante el subsistema de detección de parámetros del sistema, identifica si es necesario activar el sistema de riego y así mantener el porcentaje de humedad relativa dentro de un rango específico.

- El proceso de control de temperatura, mediante el uso de un sensor específico, y mediante la unidad de procesamiento permite encender el sistema de ventilación en caso de ser necesario.
- El control de pH permite analizar dicha variable en cada una de las cajas de cultivo, cuando este parámetro de medición se encuentra en un valor que está fuera de los parámetros de medición designados, se genera una alarma con el fin de advertir al operario del sistema.
- La parametrización de variables brinda la capacidad de otorgar un sistema flexible en el cual se puede editar los parámetros de medición de cada una de las variables que se analizan dentro del sistema.
- Finalmente, la validación del sistema se la realiza por medio de la simulación de la red de Petri y el análisis de sus propiedades, lo que permite determinar el cumplimiento de los requisitos funcionales, pues la red de Petri planteada cumple con las propiedades tanto funcionales, como estructurales.

4.2.2. Análisis de la hipótesis

La hipótesis propuesta mencionaba que a través de la automatización de un invernadero urbano permite reducir el consumo de recursos hídricos en al menos un 20% en comparación a uno tradicional, además de aumentar la eficiencia y calidad de los productos. Dicha hipótesis se comprobó a través del diseño de arquitecturas y modelado, ya que al analizarlas se cumplió con el fin designado del sistema de riego por goteo, el cual demostró que es desde un 20,2% hasta un 25,3% más eficiente en comparación a otros sistemas de riego, tal como el riego por aspersión que es uno de los usados en invernaderos (García Turienzo & de Benito Muñoz, 1996).

Al ser un sistema de riego el cual normalmente requiere de menor consumo de agua y al estar controlado a través de un microcontrolador, se activará por periodos de tiempo solo cuando sea necesario, lo que reducirá considerablemente el consumo de recursos hídricos. Mediante el control de variables como la temperatura, humedad relativa y pH, se garantizó que los cultivos se desarrollarán de manera óptima permitiendo la obtención de productos de alta calidad.

4.2.3. Análisis del cumplimiento de los objetivos

Posterior a la realización de diagramas, arquitecturas, modelos y demás herramientas que forman parte del diseño del sistema propuesto, se logró cumplir satisfactoriamente con los objetivos planteados en el primer capítulo del documento presente.

Es importante mencionar que los objetivos específicos se propusieron en base al objetivo general, por ende, si se cumplen los objetivos específicos, de igual manera se cumple con el objetivo general, tal como se menciona a continuación:

- A través de los procesos y subsistemas planteados, tales como la detección del fluido del sistema, ingreso de parámetros de medición, detección de parámetros del sistema y las acciones de control; se brinda un sistema de control automático mediante el cual se consigue un ambiente controlado
- Teniendo en cuenta que un invernadero urbano busca brindar un ambiente controlado el cual permita el crecimiento óptimo de cultivos de manera eficaz y eficiente, el modelo del sistema de control diseñado en el presente proyecto de investigación cumple con los requerimientos del invernadero de manera satisfactoria
- El modelado UML y el análisis y simulado de las Redes de Petri permitió analizar el comportamiento del sistema frente a perturbaciones y señales externas, y además a través del diseño de diagramas de flujo, permitió evaluar el rendimiento del sistema propuesto, el cual es mucho más eficiente que un invernadero urbano convencional que no consta de ningún sistema de control.

Luego de analizar cada uno de los objetivos específicos y verificar el cumplimiento de estos, se puede concluir que se cumplió con el objetivo general. Luego de realizar los diagramas y modelos correspondientes al sistema, se asegura que se diseñó un sistema de control automático basado en la utilización de microcontroladores y demás dispositivos electrónicos, de mayor eficiencia que no requiere del consumo excesivo de recursos, ya sea energéticos o hídricos.

4.2.4. Solución al problema de investigación

En el primer capítulo del proyecto de investigación se definió la siguiente pregunta de investigación:

¿En qué medida puede mejorar la eficiencia de los procesos y la calidad de los productos en los invernaderos urbanos a través de la automatización del sistema?

En base a la pregunta mencionada, se requiere el diseño de un sistema automatizado capaz de mejorar el rendimiento de un sistema convencional, por lo que se propuso el diseño y modelado de un invernadero urbano basado en la utilización de microcontroladores. A través del estado del arte, se logró recaudar información referente a documentos académicos relacionados con el tema propuesto, siendo de gran ayuda para tener en claro lo que conlleva el diseño de un invernadero urbano. A pesar de que existen varios artículos y estudios relacionados con el diseño de huertos urbanos, no existe demasiada información sobre los invernaderos urbanos, por lo que se propuso el modelo de un invernadero ya que se consideró que las virtudes que otorga la estructura de este cumplen con las necesidades que se busca satisfacer.

Los diseños tanto de arquitecturas, diagramas, modelos y redes fueron puntos de suma importancia para lograr el diseño de un sistema funcional y seguro. Gracias a los diseños y análisis realizados en la implementación del sistema se concluye que el presente proyecto de investigación otorga una solución viable al problema de investigación.

4.2.5. Aporte del sistema propuesto

El desarrollo de un sistema de control para un invernadero urbano es un aporte significativo no sólo para la carrera de ingeniería en Electrónica y Automatización, sino que es un gran aporte para la sociedad en general ya que brinda un sistema que puede ser de gran ayuda para la ciudadanía. La utilización de microcontroladores y demás dispositivos electrónicos corroboran su eficiencia al momento de automatizar cualquier tipo de procesos sin mayor complejidad.

Debido al constante crecimiento poblacional y la escasez de alimentos frescos y libres de conservantes, radica en la importancia del presente proyecto de investigación,

ya que ofrece un sistema el cual puede ser implementado en patios de casas o jardines garantizando su correcto funcionamiento gracias al diseño de control automático del mismo. Otro punto importante del diseño del sistema es que este no requiere de inversiones cuantiosas de dinero o de gran cantidad de recursos para su correcto funcionamiento.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este último capítulo, y habiendo realizado la correspondiente discusión y análisis de resultados, se da paso a las conclusiones y recomendaciones del presente proyecto, contando además con un punto referente a los posibles trabajos futuros.

5.1. Conclusiones

- Los invernaderos urbanos pueden ser mejorados en su eficiencia, a través de la automatización del sistema, por medio de microcontroladores o algún otro tipo de sistema basados en sistemas microprocesados.
- El lenguaje unificado de modelado es una herramienta que facilita la interpretación del sistema, permitiendo así el desarrollo adecuado de los subsistemas y procesos respectivos.
- El diseño la red de petri del sistema, permite obtener matrices y parámetros los cuales, mediante el respectivo análisis permiten comprobar si este será seguro y eficiente previo a la implementación física.
- La definición de las arquitecturas del sistemas, facilitan enormemente el diseño y la comprensión futura del sistema, permitiendo llegar a una implementación técnica y sistemática.
- La elaboración de subsistemas y el consiguiente diseño de diagramas de flujo de los procesos que lo conforman, permiten subdividir el sistema de manera tal que sea mucho más sencillo su entendimiento y enfocándose en puntos importantes para el sistema en general.
- El control automático de un proceso puede ser llevado a cabo a través de un microprocesador, siempre y cuando tenga las características suficientes para ejecutar los análisis y cálculos que requiera un sistema, siendo así herramientas de gran ayuda a la hora de controlar cualquier tipo de proceso.
- El sistema de riego por goteo propuesto en este trabajo a través de las diferentes arquitecturas es controlado a través de un microcontrolador, que genera un ahorro considerable de agua y reduce la carga al personal a cargo del sistema.

5.2. Recomendaciones

- Para el diseño de redes de petri el software Visual Object Net++ ha resultado muy útil en la elaboración y simulación de las redes de Petri, permitiendo el uso de lugares, arcos inhibidores y arcos de prueba, ya que es una manera relativamente sencilla de simular el comportamiento del sistema frente a situaciones que pueden alterar el funcionamiento normal del sistema.
- Para el modelado UML, específicamente en los diagramas de Casos de Uso, puede ser beneficioso en muchas ocasiones, definir como actor al propio sistema, ya que este al ser tomado como un sujeto, forma parte de cada uno de los diagramas, ya sea de casos de uso, de secuencia o de estados, de esta manera será mucho más sencilla la elaboración de estos, además de que el entendimiento de los diagramas será de mayor facilidad.
- En el caso de implementar de manera física el sistema, se recomienda el uso de canaletas para las conexiones eléctricas, ya que al existir un sistema de riego, puede existir fugas o salpicaduras que pueden malograr el equipo utilizado.
- Dependiendo del tipo de cultivo que se siembre en el invernadero, se debe comparar los parámetros de medición con los rangos que permite cada uno de los sensores planteados en el proyecto; en caso de ingresar parámetros que no pueden ser medidos por los sensores, estos deben ser reemplazados por otros que cumplan con los requerimientos necesarios, teniendo en cuenta el consumo y el voltaje de alimentación que estos posean.

5.3. Trabajo futuro

Luego de constatar que el sistema del invernadero urbano propuesto satisface las necesidades mencionadas, se considera que este sistema puede ser implementado a mayor escala a través de un controlador lógico programable, ya que en el caso de existir mayores cajas de cultivo y variables que medir, este dispositivo de control es el idóneo. Una alternativa sustentable para este sistema sería la utilización de paneles fotovoltaicos, ya que además de reducir el consumo de agua a través del sistema de riego por goteo, se estaría reduciendo el consumo energético del sistema. También se puede añadir un sistema de supervisión por computadora a través del estándar Ethernet, lo que facilitaría el trabajo del operario encargado del invernadero.

Referencias Bibliográficas

- Arámbulo Marin, A., & Salazar Tapia, A. (2017). Diseño y Construcción de un Prototipo de Sistema de Riego Automatizado con Tecnología Open Source y Energía Renovable con Monitoreo Vía Web para los Huertos Organopónicos de la Prefectura del Guayas [Thesis, Universidad De Guayaquil. Facultad De Ciencias Matemáticas Y Físicas. Carrera De Ingeniería En Networking Y Telecomunicaciones]. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/27808>
- Bartelt, T. L. M. (2011). Industrial automated systems: Instrumentation and motion control. Delmar/Cengage Learning.
- Borrero, J. D., & Zabalo, A. (2020). An Autonomous Wireless Device for Real-Time Monitoring of Water Needs. *Sensors*, 20(7), 2078. <https://doi.org/10.3390/s20072078>
- Castilla, N. (2007). Invernaderos de plástico: Tecnología y manejo (2a ed. corregida y ampliada). Mundi-Prensa.
- Chacón Becerra, J. P., & Tigse Lara, A. G. (2017). Automatización de los procesos de un huerto hidropónico para el control de variables, utilizando sistemas basados en microcontroladores. [Universidad Católica de Santiago de Guayaquil]. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/7734>
- Cortes Cadavid, V., & Vargas García, M. F. (2021). Diseño e implementación de un sistema de riego automatizado y monitoreo de variables ambientales mediante Iot en los cultivos urbanos de la fundación mujeres empresarias Maria Poussepin [Universidad Católica de Colombia]. <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/25546>
- Creus Solé, A. (2011). Instrumentación industrial. Alfaomega.

- Daneri, P. A. (2009). PLC: Automatización y Control Industrial. Editorial Hispano Americana HASA. <https://library.biblioboard.com/content/1414ecf7-6897-4b38-b910-e76da16c085a>
- David, R., & Alla, H. (2010). Discrete, continuous, and hybrid Petri Nets (2nd ed). Springer.
- De Silva, C. W. (2016). Sensors and actuators: Engineering system instrumentation (Second edition). CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Dunn, W. C. (2006). Introduction to instrumentation, sensors and process control. Artech House.
- Enciso, J., Osborne, D., & Périès, X. (2007). Uso de sensores de humedad del suelo para eficientizar el riego. University of Texas System.
- Fowler, M., & Scott, K. (1999). UML gota a gota. Pearson Educaci??n.
- García Turienzo, M. A., & de Benito Muñoz, A. (1996). Comparación de dos sistemas de riego: Aspersión y goteo, en remolacha azucarera. Ingeniería del agua, 3(4), 37-44. <https://doi.org/10.4995/ia.1996.2707>
- Glatron, S., & Granchamp, L. (Eds.). (2018). The Urban Garden City: Shaping the City with Gardens Through History (1st ed. 2018). Springer International Publishing : Imprint: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-72733-2>
- Herrera Gonzalez, J. S. (2020). Diseño y construcción de un prototipo de invernadero urbano automatizado de tres metros cúbicos que permita controlar la humedad relativa por medio de microcontroladores para generar una producción constante de alimentos orgánicos. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19299>
- Icaza Guamba, C. A., & Navarrete Pinto, S. M. (2021). Análisis, diseño y desarrollo de un sistema inteligente y automatizado de monitoreo y control de cultivos

- con IoT. Caso de estudio: Huertos urbanos [Quito: UCE].
<http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/23890>
- Kumar, V. P., Ramya, K. C., Abishek, J. S., Arundhathy, T. S., Bhavvya, B., & Gayathri, V. (2021). Smart garden monitoring and control system with sensor technology. *Int. Conf. Signal Process. Commun., ICPSC*, 93-97. Scopus.
<https://doi.org/10.1109/ICSPC51351.2021.9451788>
- Marshall, R. (2006). *How to build your own greenhouse: Designs and plans to meet your growing needs*. Storey Pub.
- Marshall, R. (2014). *The greenhouse gardener's manual*. Timber Press.
- Morais, R., Mendes, J., Silva, R., Silva, N., Sousa, J. J., & Peres, E. (2021). A Versatile, Low-Power and Low-Cost IoT Device for Field Data Gathering in Precision Agriculture Practices. *Agriculture*, 11(7), 619.
<https://doi.org/10.3390/agriculture11070619>
- Nasevilla Bonilla, J. F. (2010). Estudio de las características físico—Químicas y nutricionales de dos ecotipos de rábano (*raphanus sativus* L.) [Universidad UTE]. <http://repositorio.ute.edu.ec/xmlui/handle/123456789/4867>
- Nesbitt, B. (Ed.). (2007). *Valves manual international: Handbook of valves and actuators* (1st ed). Butterworth-Heinemann.
- Nise, N. S. (2015). *Control systems engineering* (Seventh edition). Wiley.
- Rumbaugh, J., Jacobson, I., & Booch, G. (2007). *El Lenguaje unificado de modelado: Manual de referencia : UML*. Pearson Addison-Wesley.
- Sadowski, S., & Spachos, P. (2018). Solar-Powered Smart Agricultural Monitoring System Using Internet of Things Devices. 2018 IEEE 9th Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON), 18-23. <https://doi.org/10.1109/IEMCON.2018.8614981>

- Sambath, M., Prasant, M., Bhargav Raghava, N., & Jagadeesh, S. (2019). Iot Based Garden Monitoring System. *Journal of Physics: Conference Series*, 1362, 012069. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1362/1/012069>
- Schmuller, J. (2000). *Aprendiendo UML en 24 horas*. Pearson Educación.
- Seidl, M., Brandsteidl, M., Huemer, C., & Kappel, G. (Eds.). (2012). *UML @ classroom: Eine Einführung in die objektorientierte Modellierung* (1. Aufl). dpunkt-Verl.
- Serrano Cermeño, Z. (2005). *Construcción de invernaderos*. Mundi-Prensa Libros.
- Silva, M. (1985). *Las redes de Petri: En la automática y la informática*. Editorial AC.

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Mosquera Freire, Jorge Manuel**, con C.C: # 070657234-4 autor/a del trabajo de titulación: **Automatización de un invernadero urbano para la producción de hortalizas utilizando microcontroladores** previo a la obtención del título de **INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 3 de marzo del 2022

f.  _____

Nombre: Mosquera Freire, Jorge Manuel

C.C: 070657234-4

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA			
FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN			
TEMA Y SUBTEMA:	Automatización de un invernadero urbano para la producción de hortalizas utilizando microcontroladores		
AUTOR(ES)	Mosquera Freire, Jorge Manuel		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Msc. Mendoza Merchán, Eduardo Vicente		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	De Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería Electrónica y Automatización		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero en Electrónica y Automatización		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	3 de marzo del 2022	No. DE PÁGINAS:	88
ÁREAS TEMÁTICAS:	Sistemas de control, invernaderos Urbanos, sistemas microcontrolados		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Microcontroladores, arquitecturas de automatización, modelado UML, redes de petri, invernaderos urbanos, sistemas de control.		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):			
<p>El presente trabajo de integración curricular se basa en el desarrollo de un sistema automatizado basado en microcontroladores, enfocado al control de un invernadero urbano. El cual busca ofrecer un sistema eficiente y seguro, mediante el cual se garantice un entorno controlado que pueda mejorar la eficiencia del invernadero en comparación con los de tipo convencional. El sistema consta de dispositivos electrónicos tales como sensores y actuadores que logran medir las variables del sistema y ejecutar acciones de control en el caso de que sea necesario respectivamente. Para la comprobación del correcto funcionamiento del sistema se recurre a herramientas como diagramas de lenguaje unificado de modelado y diseño de redes de petri, las cuales brindan propiedades que serán analizadas exhaustivamente para verificar si el sistema satisface las necesidades propuestas; además, la elaboración de diagramas de flujo referentes a los subsistemas del sistema general permite definir de manera específica los procesos que los conforman. Mediante la discusión y análisis de los resultados obtenidos, se concluye que el sistema propuesto cumple de manera satisfactoria con los objetivos definidos.</p>			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-9-39905160	E-mail: jorgemmf0299@gmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):	Nombre: Palacios Meléndez, Edwin Fernando		
	Teléfono: +593-9-67608298		
	E-mail: edwin.palacios@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			