



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

TEMA:

**Sistema de supervisión de un huerto urbano a través de una
HMI**

AUTOR:

Murillo Gómez, Luis Fernando

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

TUTOR:

M. Sc. Mendoza Merchán, Eduardo Vicente

Guayaquil, Ecuador

19 de septiembre del 2022



UNIVERSIDAD CATÓLICA

DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y

AUTOMATISMO

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por **Murillo Gómez, Luis Fernando**, como requerimiento para la obtención del título de **INGENIERO ELECTRÓNICO EN CONTROL Y AUTOMATISMO**.

TUTOR

f. _____

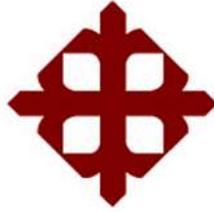
Ing. Mendoza Merchán, Eduardo Vicente, Mgs.

DIRECTOR DE LA CARRERA

f. _____

M. Sc. Bohórquez Escobar, Celso Bayardo

Guayaquil, a los 19 días del mes de septiembre del año 2022



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

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Murillo Gómez, Luis Fernando**

DECLARO QUE:

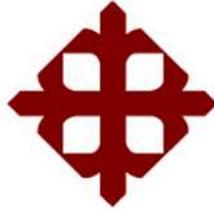
El Trabajo de Titulación: **Sistema de supervisión de un huerto urbano a través de una HMI**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Electrónico en Control y Automatismo**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

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

Guayaquil, a los 19 días del mes de septiembre del año 2022

EL AUTOR

f. _____
Murillo Gómez, Luis Fernando



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

AUTORIZACIÓN

Yo, **Murillo Gómez, Luis Fernando**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: **Sistema de supervisión de un huerto urbano a través de una HMI**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 19 días del mes de septiembre del año 2022

EL AUTOR:

f. _____

Murillo Gómez, Luis Fernando

REPORTE DE URKUND

REVISIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN CON PROGRAMA URKUND CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

TÍTULO: Sistemas de supervisión de un huerto urbano a través de una HMI.

AUTOR: LUIS FERNANDO MURILLO GÓMEZ



Document Information

Analyzed document	2022-09-07 Titulación Luis Murillo 1.docx (D143738884)
Submitted	2022-09-08 02:18:00
Submitted by	
Submitter email	eduardo.mendoza01@cu.ucsg.edu.ec
Similarity	0%
Analysis address	eduardo.mendoza01.ucsg@analysis.urkund.com

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

A handwritten signature in blue ink, enclosed in a hand-drawn oval. The signature appears to read "Eduardo Mendoza Merchán".

.....
Ing. Eduardo Mendoza Merchán, Mgs
DOCENTE TUTOR

AGRADECIMIENTOS

Primero quiero agradecer a Dios por haberme guiado hasta esta etapa de mi vida y brindarme la sabiduría necesaria para poder culminar este trayecto.

A mis padres que siempre me apoyaron incondicionalmente y me acompañaron para poder culminar esta etapa universitaria.

A mi hermano que siempre me brindó su apoyo en cada momento de que lo necesitaba.

A los profesores de la Facultad de Educación Técnica por compartir su conocimiento y brindar ayuda en cualquier ocasión.

A mi tutor, Ing. Eduardo Mendoza por brindarme su tiempo y ayudarme con sus conocimientos para poder culminar este trabajo de investigación.

Luis Murillo Gómez

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a mis padres Félix y María que me permitieron completar esta etapa universitaria y me acompañaron en todo lo que necesitaba.

A mi hermano que siempre me brindó su apoyo incondicional y a toda mi familia que me han acompañado y brindado todo su cariño.

Luis Murillo Gómez



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

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

M. Sc. BOHÓRQUEZ ESCOBAR, CELSO BAYARDO
DIRECTOR DE CARRERA

f. _____

M. Sc. VÉLEZ TACURI, EFRAÍN OLIVERIO
COORDINADOR DEL ÁREA

f. _____

M. Sc. CÓRDOVA RIVADENEIRA, LUIS SILVIO
OPONENTE

Índice General

RESUMEN.....	XVI
ABSTRACT.....	XVII
INTRODUCCIÓN.....	2
CAPITULO 1. CONSIDERACIONES GENERALES.....	4
1.1 problema de investigación.....	4
1.2 Justificación.....	4
1.3 Delimitación.....	5
1.4 Objetivos de investigación.....	5
1.4.1 Objetivo general.....	6
1.4.2 Objetivos específicos.....	6
1.5 Metodología.....	6
1.6 Tareas de investigación.....	6
CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO.....	8
2.1 Estado del Arte.....	8
2.2 Huertos urbanos.....	12
2.2.1 Tipos de Huertos Urbanos.....	13
2.3 Sistemas basados en microcontroladores.....	16
2.3.1 Sistemas embebidos.....	16
2.3.2 Microcontroladores.....	17
2.4 Sensores y actuadores en huertos urbanos.....	20
2.4.1 Sensor de pH.....	21
2.4.2 Sensor de temperatura.....	22
2.4.3 Sensor de humedad.....	22
2.4.4 Electroválvulas.....	23
2.4.5 Electrobombas.....	23
2.5 Interfaz humano maquina (HMI).....	24

2.5.1 Funciones del HMI	24
2.5.2 Interfaz de hardware	25
2.5.3 Interfaz de software	25
2.5.4 Interfaz software-hardware	25
2.6 Lenguaje de Modelado Unificado	25
2.6.1 Diagrama de casos de uso	26
2.6.2 Diagrama de secuencias	27
2.6.3 Diagrama de estados.....	28
2.7 Redes de Petri.....	29
2.7.1 Estructura de una Red de Petri.....	30
2.7.2 Semántica de las redes de Petri	31
2.7.3 Tipos de nodos de las Redes de Petri	31
2.7.4 Propiedades de la Redes de Petri	32
CAPITULO III: DISEÑO DEL SISTEMA.....	34
3.1. Consideraciones iniciales de diseño	34
3.1.1 Descripción del sistema.....	34
3.1.2 Caracterización del sistema	36
3.1.3 Funciones del sistema (requisitos funcionales)	37
3.1.3.1 Funciones principales	37
3.1.3.2 Funciones secundarias	38
3.2. Arquitecturas del sistema	38
3.2.1 Arquitectura de automatización	38
3.2.2 Arquitectura de comunicaciones.....	39
3.2.3 Arquitectura de Hardware	40
3.3. Modelado del sistema con UML.	40
3.3.1 Diagrama de casos de uso	40
3.3.2. Diagramas de secuencia	42

3.3.3. Diagramas de estado.....	43
3.4 Modelado en redes de Petri	44
3.4.1 Matrices de la Red de Petri del sistema.....	46
3.5 Implementación del sistema	48
3.5.1 Subdivisión del sistema	49
3.5.2 Control de temperatura.....	49
3.5.3 Control de humedad	50
3.5.4 Control de pH.....	52
3.5.5 Generación de alarmas.....	54
3.5.6 Visualización en HMI	55
3.6 Pruebas experimentales.....	57
3.6.1 Control de temperatura.....	57
3.6.2 Control de Humedad.....	59
3.6.3 Control de pH.....	59
3.6.4 Sistema de riego	60
CAPITULO 4: PRESENTACION DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN	62
4.1 Presentación de resultados.....	62
4.1.1. Resultados de estado del arte	62
4.1.2. Resultados de las arquitecturas.....	63
4.1.3. Resultados del modelado UML y RdP	64
4.1.4. Resultados de la implementación	64
4.1.5. Resultados de pruebas experimentales.....	65
4.2 Discusión de resultados	65
4.2.1 Discusión del cumplimiento de los requisitos funciones	65
4.2.2 Cumplimiento de objetivos.....	66
4.2.3 Solución al problema de investigación.....	67
4.2.4 Aporte del sistema propuesto	68

Capítulo 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	69
5.1 Conclusiones.....	69
5.2 Recomendaciones.....	70
5.3 Trabajo futuro	70
Bibliografía.....	72

Índice de figuras

Figura 1: huerto urbano de cultivo de Frutas y hortalizas en el Trebol, centro de Quito.	12
Figura 2: Huerto comercial de frutas y hortalizas en cantón el Pangui, Zamora.	13
Figura 3: Huerto comunitario en la Comuna Miraflores dentro del Parque Metropolitano, Quito.....	14
Figura 4: Huerto escolar de la Unidad Educativa Santiago Mayor, Guayaquil.	15
Figura 5: Huerto terapéutico para personas con discapacidad en el sur de Quito.	15
Figura 6: Diversos tipos de huertos urbanos.....	16
Figura 7: Microcontrolador STM32 Cortex	18
Figura 8: Esquema general de un microcontrolador	19
Figura 9: diagrama de Arquitectura Von Neumann.....	19
Figura 10: Diagrama de Arquitectura Harvard	20
Figura 11: Sensor de pH.....	21
Figura 12: Sensor de temperatura DHT22.....	22
Figura 13: sensor capacitivo de humedad	22
Figura 14: Electroválvula	23
Figura 15: Electrobomba.....	23
Figura 16: Pantalla HMI Touchwin.....	24
Figura 17: Ejemplo de diagrama de caso de uso.....	26
Figura 18: Ejemplo de un diagrama de secuencias	27
Figura 19: Ejemplo de diagrama de estados de un Termostato.....	29
Figura 20: Elementos de una Red de Petri.	29
Figura 21: Ejemplo de estructura de una Red de Petri.	30
Figura 22: Tipos de nodos de las Redes de Petri.	32
Figura 23: Diagrama de flujo del sistema.....	35
Figura 24: Arquitectura de automatización.	39
Figura 25: Diagrama de bloques de comunicaciones.	39
Figura 26: Arquitectura del hardware del sistema.....	40
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: Red de Petri del sistema.....	45
Figura 31: Matriz de inhibición H.....	46
Figura 32: Matriz de marcado	47
Figura 33: transiciones habilitadas de la Red de Petri	47
Figura 34: Resultado del análisis del espacio de estados	48
Figura 35: Diagrama de flujo del control de temperatura	49
Figura 36: Implementación control de temperatura.....	50
Figura 37: Diagrama de flujo del control de humedad	51
Figura 38: Implementación control de humedad.....	52
Figura 39: Diagrama de flujo del control de pH.....	53
Figura 40: Implementación del control de pH	53
Figura 41: Diagrama de flujo de la generación de alarmas.....	54
Figura 42: Visualización en HMI la página de alarmas	55
Figura 43: Diagrama de flujo de la visualización en HMI	55
Figura 44: visualización en HMI de página de inicio	56
Figura 45: visualización en HMI el modo manual.....	56
Figura 46: Visualización en HMI el modo automático	57

Índice de tablas

Tabla 1: Tiempo de actualización del cambio de temperatura	58
Tabla 2: Resultados prueba de error del sensor de temperatura.....	58
Tabla 3: resultado de error en sensor de humedad	59
Tabla 4: Resultados de tabla de error del sensor de pH.....	60
Tabla 5: Tiempos de activación del sistema a la humedad programada	60

RESUMEN

El presente trabajo de investigación está basado en el desarrollo de un sistema de supervisión para un huerto urbano a través de una HMI, este tiene como objetivo proponer un sistema de supervisión basado en una pantalla HMI con el fin de mejorar el proceso de mantenimiento, cuidado y disminuir el uso de recursos para un huerto urbano, para lo cual se usan técnicas de automatización y control de procesos. El sistema está compuesto de dispositivos electrónicos tales como un microcontrolador, sensores y actuadores para lograr adquirir y controlar las variables requeridas para establecer un control sobre el proceso respectivo. Con la ayuda de herramientas de diseño y modelado como los diagramas de lenguaje de modelado unificado (UML), se modeló y verificó el sistema. A partir de los modelos generados se realizó la simulación del sistema a través de las redes de Petri para verificar por medio de sus propiedades si se cumple con los requisitos funcionales del sistema. La implementación y las pruebas experimentales permitieron comprobar que el sistema es capaz de supervisar y monitorear todos los procesos que conforman el sistema de una manera eficiente. Finalmente, con los resultados y su análisis, se concluye que el sistema cumple satisfactoriamente las funciones definidas y los objetivos de investigación planteados para el cuidado y mantenimiento de un huerto.

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

ABSTRACT

The present research work is based on the development of a supervision system for an urban garden through an HMI, this aims to propose a supervision system based on an HMI screen in order to improve the process of maintenance, care and reduce the use of resources for an urban garden, for which automation and process control techniques are used. The system is composed of electronic devices such as a microcontroller, sensors and actuators to acquire and control the variables required to establish control over the respective process. With the help of design and modeling tools such as Unified Modeling Language (UML) diagrams, it was possible to model and verify the operation of the system, consequently, the modeling simulation was carried out through Petri nets to check by means of its properties if the functional requirements of the system are fulfilled. The implementation and the experimental tests served to verify that the system is capable of supervising and monitoring all the processes that make up the system in an efficient manner. Finally, with the results and their respective analysis, it is concluded that the system satisfactorily meets the objectives of improving the care and maintenance of an orchard and is very efficient, providing many facilities to users.

Keywords: Urban gardens, HMI, microcontrollers, automation architectures, UML modeling, Petri net, control systems.

INTRODUCCIÓN

La práctica de la agricultura se denota desde el inicio de los tiempos donde ha servido tanto para el desarrollo del ser humano, en cuanto a la obtención de recursos por medio del suelo; dando un amplio beneficio de alimentos para subsistir. En la actualidad el crecimiento de las grandes ciudades y la sobrepoblación ha llevado a la agricultura a un proceso de industrialización para lograr una producción masiva de alimento. Lo que ha conllevado a una producción desmesurada dando como resultados daños al medio ambiente por el uso de productos químicos y abastecedores de alimentos ofrecen los alimentos en malas condiciones y a costos muy elevados.

La agricultura urbana es una práctica de cultivo desarrollada dentro de un perímetro urbano y es una solución para mitigar los problemas que presenta la industrialización de la agricultura ya que facilita a aquellas personas que requieran producir sus propios alimentos y dan la posibilidad de obtenerlos en buen estado y conseguir un beneficio económico pero necesitan de un mantenimiento y cuidado del mismo por lo que en ocasiones las personas dejan abandonada esta práctica debido a la falta de conocimiento o el tiempo que requieren para su cuidado. Mediante la tecnología se puede solucionar los diversos problemas que conlleva esta práctica. Se puede diseñar un sistema capaz de supervisar y monitorear las variables ambientales y físicas que conllevan al mantenimiento de un huerto. con el uso de dispositivos electrónicos se puede desarrollar sistema automatizados para que se mejore el proceso de cuidado de un huerto urbano y facilitar la persona encargada.

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo principal proponer un sistema de supervisión para un huerto urbano a través de una HMI, que permita mejorar el proceso de mantenimiento del mismo. Para ello se proponen el uso de técnicas de automatización con de desarrollo de arquitecturas. Para el diseño y modelado del sistema se los describe a través de diagramas UML (Lenguaje de Modelado Unificado) y redes de Petri de las cuales sirven para comprobar la funcionalidad del sistema y fundamentos de análisis si el sistema es adecuado para los requisitos propuestos para su

posterior implementación. El desarrollo de este trabajo de investigación se ha dividido en cinco capítulos los cuales se describen en los siguientes párrafos.

En el primer capítulo se presentan las condiciones generales del sistema, para lo cual se define la problemática encontrada para llevar a cabo el desarrollo de esta investigación, la justificación, la delimitación, los objetivos planteados y la metodología de investigación empleada.

Para el segundo capítulo, se muestra el estado del arte donde se analiza artículos relacionados con el tema de investigación, con el fin de establecer una base para llevar a cabo la elaboración del sistema. Además, se desarrolla el marco teórico, presenta los fundamentos teóricos acerca de los huertos urbanos, sistemas basados en microcontroladores, HMI, modelado UML y las redes de Petri.

En el tercer capítulo se realiza la descripción del sistema, la descripción de las funciones del sistema para luego establecer la arquitectura que permitirán constituir la estructura del diseño del sistema. Para continuar con el modelado del sistema a través de diagramas UML y redes de Petri para determinar sus funciones e interacciones. Posteriormente se analiza la implementación del sistema y las pruebas experimentales para evaluar su funcionamiento.

El cuarto capítulo se presenta un análisis de los resultados obtenidos y la discusión de los mismos. De esta manera se evalúa si los resultados cumplen con los objetivos propuestos y se determina una solución a la problemática propuesta del estudio.

Finalmente, en el quinto capítulo se realiza la presentación de las conclusiones obtenidas de todo el desarrollo abordado en los capítulos anteriores a través del diseño, modelado, implementación y pruebas. Además, se dan recomendaciones acerca de esta investigación y una breve recomendación para trabajos futuros.

Este trabajo de investigación y este tipo de proyectos benefician la práctica de la agricultura urbana y sirven para evidenciar que el uso de sistemas de automatización mejora en gran medida los distintos procesos de producción, por lo que su lectura puede ser útil para aquellos profesionales de la rama o personas interesadas en el tema abordado.

CAPITULO 1: CONSIDERACIONES GENERALES

1.1 problema de investigación.

Los huertos urbanos representan una opción tanto social como comercial para el abastecimiento de pequeñas familias, ofreciendo la comodidad de obtener sus propios vegetales a cambio de relativamente poco cuidado y manejo en relación a sus ganancias (García Arboleda, 2018). Si bien los huertos urbanos están diseñados para personas que viven en grandes ciudades, siguen siendo sistemas que requieren la presencia de alguien para inspeccionar y mantener adecuadamente los cultivos, por lo que el tiempo se convierte en la causa de poco mantenimiento y descuido en las plantas. Dado que los avances en electrónica micro programable y sus bajos costes, permite desarrollar dispositivos para estos sistemas orientados al hogar, donde la tecnología puede jugar un papel fundamental para su normal funcionamiento. En la agricultura, los requerimientos de cuidados pueden requerir mucho tiempo y personal, que muchas de las veces pueden encarecer el producto final, o que de no hacerlo adecuadamente degenera la calidad y productividad de determinada zona agrícola. En los sectores urbanos, los huertos destinados para pequeñas producciones de hortalizas o frutas, requieren de un tiempo de atención para su buen mantenimiento, que muchos dueños de hogar no lo disponen, por lo que esta buena práctica agrícola no desarrolla, y aquellos que la inician, deben de gastar mucho tiempo en mantenerlas, y aun así, no generan resultado adecuado, dado que las dosis de fertilizantes, insecticidas, temperaturas e hidratación requerida, no suelen ser en la medida requerida.

En base a lo analizado, se propone la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo se puede mejorar el proceso de cuidado de un huerto urbano utilizando tecnologías electrónicas micro programable?

1.2 Justificación.

La aceleración del desarrollo tecnológico en diversas áreas del conocimiento ha permitido encontrar nuevas y mejores formas de afrontar las tareas cotidianas. La importancia de encontrar alternativas para aumentar la eficiencia de los huertos urbanos radica en su importancia como una nueva

fuelle de proveer alimentos frescos en la ciudad. En la actualidad, el problema de estas superficies urbanas es la falta de correcto mantenimiento de estas, ya sea por falta de desconocimiento o tiempo por parte de las personas lo que conlleva a un abandono de estos huertos. Los requerimientos de un huerto urbano para que se mantenga en condiciones óptimas implica una serie de actividades que deben de realizarse en una proporción que permita el crecimiento adecuado de las plantas, la erradicación de plagas y la administración correcta de nutrientes, sin lo cual, el objetivo de un huerto urbano, puede perder su horizonte. Los huertos urbanos son una alternativa actual para disponer de ciertos alimentos en buenas condiciones y libres de contaminantes, dentro de la ciudad, sobretudo, en aquellas urbes de dimensiones muy grandes, cuyos abastecedores de alimentos, cada vez están más lejos, y hacen que los vegetales no lleguen en buenas condiciones y a costos elevadas. Por lo tanto, la necesidad de realizar un proyecto que atienda el problema definido en la sección anterior se hace necesario, dado que sus resultados, permitirán que los huertos urbanos sean más fáciles y económicos de mantener.

1.3 Delimitación.

El presente trabajo de investigación estará enfocado en el área de automatización. Teniendo como propósito desarrollar un sistema de supervisión eficiente y funcional. Buscando dar una mejora el proceso de mantenimiento y gestión de los recursos requeridos por los huertos urbanos, donde puede estar encaminado a personas que, por diversos factores, no disponen con el tiempo requerido para mantener dichos huertos. Este proyecto está basado específicamente en el diseño e implementación de un sistema de supervisión y monitoreo de las variables que requiere un huerto urbano para mejorar la eficiencia de su cuidado y mantenimiento, esto a través de una interfaz de una pantalla HMI con la finalidad de comprobar y verificar su funcionalidad.

1.4 Objetivos de investigación.

A continuación, se plantean los objetivos generales y específicos para el presente trabajo de investigación.

1.4.1 Objetivo general

Estudiar un sistema de supervisión basado en una pantalla HMI utilizando técnicas de automatización, para optimizar el mantenimiento, cuidado y disminuir del consumo de recursos de un huerto urbano.

1.4.2 Objetivos específicos

- Diseñar un sistema de supervisión que permita mejorar la eficiencia de gestión de recursos de un huerto urbano, a través del uso de herramientas de modelado.
- Modelar el sistema interfaz hombre maquina (HMI) para que cumpla con los requerimientos de los recursos de un huerto urbano utilizando dispositivos electrónicos.
- Evaluar el funcionamiento del sistema de supervisión para determinar el desempeño del sistema a través de la descripción y simulación del sistema con redes de Petri.

1.5 Metodología.

El presente trabajo se enmarca en un tipo de investigación de tipo correlacional, dado que es un tipo de metodología de investigación experimental en el cual se facilita el análisis de relación de varias variables que se requiere para la eficiencia del sistema. El enfoque del estudio es cuantitativo, ya que conduce a la recopilación y análisis de datos e información obtenidos del sistema para lograr un mejor rendimiento cuantificable. Los métodos de investigación son analítico y experimental. El método analítico debido a la recopilación de investigaciones académicas relacionadas para obtener suficiente información relevante para el diseño del sistema con bases científicas. El método experimental permitirá registrar las variables analizadas para manipularlas y controlarlas obteniendo nuevos conocimientos y mejorarlos.

1.6 Tareas de investigación.

Con lo analizado anteriormente en la metodología se plantean las siguientes tareas de investigación:

- Evaluar los problemas de investigación por medio del análisis bibliográfico
- Recopilar información relacionada al tópico del trabajo de investigación en investigaciones académicas, artículos científicos y otras fuentes de información
- Determinar las características y funciones de las variables del proceso para su funcionamiento
- Describir las características de los requisitos de funcionalidad del sistema
- Establecer la arquitectura del sistema a implementar
- Seleccionar los componentes y periféricos que comprenderán el sistema de supervisión
- Diseñar el sistema de supervisión de un huerto urbano
- Desarrollar la programación de la pantalla (HMI) seleccionada
- Ejecutar pruebas de funcionamiento del sistema diseñado
- Implementar el sistema de supervisión en el huerto urbano
- Demostrar el correcto funcionamiento del sistema implementado
- Estimar un presupuesto de gastos realizados en el proyecto
- Analizar los resultados obtenidos
- Concluir y recomendar mejoras para trabajos futuros

CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se presenta el estado del arte enfocado a los sistemas de supervisión a través de un HMI, con el fin de establecer avances y aportes de la actualidad acerca del tema. Aparte se define los diversos fundamentos y conceptos teóricos necesarios para establecer una base en el desarrollo tema de investigación y tener una mejor visión para el diseño y desarrollo del proyecto de investigación.

2.1 Estado del Arte

En los siguientes párrafos se ha elaborado el estado del arte enfocado a los sistemas de supervisión y monitoreo a través de un HMI para la implementación en la agricultura urbana. Donde se resumen trabajos de investigación relacionados con el tema del trabajo de investigación. De esta forma se puede estudiar y analizar por medio de una recopilación de investigaciones y artículos, nuevos fundamentos y aportaciones para mejorar el desarrollo de este estudio.

Según (Idzni & Chia, 2021) manifiestan que la economía basada en la agricultura ha experimentado una transformación significativa en la economía de Malasia, donde el sector agrícola se ha movido rápidamente hacia el estado de un país industrializado. Sin embargo, existen varios desafíos que amenazan la capacidad de lograr este estado industrial, a saber, el nivel de los avances tecnológicos disponibles, así como la eficiencia de la producción. Tiene como objetivo evaluar el desempeño de un sistema propuesto en el seguimiento y control de las variables que influyen en el crecimiento de los vegetales que conducen a un crecimiento óptimo en la agricultura de interior. Como resultados muestran que el sistema propuesto fue capaz de proporcionar con precisión la luz suficiente que las verduras necesitaban y de controlar mejor la temperatura en comparación con un cultivo típico al aire libre y tradicional. Concluyen que el sistema propuesto promete generar un impacto positivo en el sector agrícola al proporcionar mejores condiciones ambientales para el cultivo de hortalizas.

De acuerdo con (Priyadharson & Joshua, 2021) el desarrollo de un sistema de ingeniería agrícola son para apoyar a los agricultores. Tienen como objetivo fabricar una estación de control de procesos en tiempo real, una planta de energía solar y una estación ZigBee junto con una interfaz hombre-máquina de control lógico programable (PLC-HMI). El PLC rociará automáticamente agua, pesticidas y suficientes nutrientes en los intervalos de tiempo deseados y en circunstancias de emergencia. Usando un HMI, monitorearán la aspersión de agua, nutrientes y pesticidas. Durante una emergencia, el rociado se puede realizar presionando el botón en el HMI. De acuerdo con los resultados del sistema los autores Concluyen que el estrés de campo de los agricultores se reducirá con beneficios adicionales como una alta cosecha y un consumo eficiente de agua.

En su artículo (Thong-un & Wongsaroj, 2022) proponen la instalación de una granja inteligente de hongos ostra que combine dispositivos sensoriales, un controlador lógico programable (PLC) y un módulo inalámbrico. El PLC inalámbrico inteligente fomenta el rendimiento de hongos de alta calidad. El sistema es capaz de monitorear, controlar y propagar información de forma inalámbrica a una base de datos. El monitoreo se ejecuta a través de una aplicación web en la PC, el teléfono inteligente y la HMI del PLC. Obteniendo como resultado que el cultivo de champiñones controlado por el sistema propuesto ofrece un rendimiento superior al de los cultivos agrícolas producidos de forma tradicional. Concluyen que la calidad de la seta obtenida también es mejor. En resumen, la eficacia del PLC inalámbrico inteligente mejora la calidad y la productividad del cultivo de hongos.

En el artículo de los autores (Pastuña et al., 2021) presentan un enfoque de Control del consumo de agua, energía y humedad en un invernadero y pretenden beneficiar a productores, docentes y estudiantes de la Universidad Técnica de Cotopaxi en el Campus Salache, que están a cargo del invernadero, facilitándoles la incorporación de las variables más importantes para el control y operación del riego, con el monitoreo del consumo de agua.

Que tuvo como objetivo el incorporar el control de humedad energía y consumo de agua, mediante un sistema de medición con un sensor ultrasónico, PLC S7 1200, una electroválvula, sensores de humedad del tipo FC 28 y un medidor de energía, los cuales ayudan a monitorear el comportamiento de la humedad para definir los momentos de riego y realizar el control de manera manual y automática de este recurso a través de una interfaz gráfica (HMI). Concluyen que el sistema de control de humedad y consumo de agua, contribuyó a garantizar el régimen adecuado de humedad del agua en los cultivos del invernadero y facilitó el seguimiento del gasto de agua por plantas para lograr una correcta dosificación atendiendo al tipo de cultivo.

Según (Andagana Paredes & Taco Muñoz, 2021) en su proyecto de investigación mencionan que en el Ecuador la mayoría de los cultivos cuentan con sistemas de riego por lo que el principal problema radica en el desperdicio del agua que se genera al realizar el riego de cultivos de manera manual, debido a que el sector agrícola es el principal partícipe del uso del agua que por lo general tienen un uso ineficiente de ella, desperdiciando este recurso natural limitado. Se plantearon como objetivo la automatización de un sistema de riego por goteo, que es operado por medio de una pantalla Siemens KTP 600. La automatización del sistema de riego tiene como razón primordial controlar la variable de humedad, monitorear la temperatura del terreno y nivel de agua de los reservorios por medio de ordenes emitidas por un controlador lógico programable (PLC). Concluyen que todos los equipos y elementos instalados en el sistema de riego permiten al usuario controlar y monitorear el cultivo de mora mejorando la producción, recurso hídrico y el consumo eléctrico.

De acuerdo con (Melendez, 2019) manifiesta que La agricultura es muy vulnerable al cambio climático, con sus cada vez más frecuentes patrones erráticos, con presencia de temperaturas extremas, sequías o precipitaciones excesivas. Con el objetivo de controlar parámetros de temperatura y humedad, realizó una revisión orientada a buscar sistemas automatizados,

utilizando para la tecnificación de los procesos de control y monitoreo, sistemas integrados SCADA en agricultura bajo invernadero. Concluyendo que se evidencia un mejor impacto en el control, en tiempo real, de condiciones de temperatura y humedad, gracias al uso de sensores que permiten alcanzar una mayor eficiencia en los procesos de producción; además de los beneficios que aporta el uso de PLC con los datos generados, los cuales son enviados por un enrutador para ser administrados por una base de datos y ser presentados en forma gráfica.

La innovación tecnológica representa un aspecto clave para lograr una agricultura competitiva y sustentable. La necesidad de proponer soluciones a este sector mediante la planeación y ejecución de proyectos innovadores está motivada principalmente por los desafíos de un mundo globalizado. La necesidad de disminuir el impacto ambiental provocado por la agricultura industrial y las emergentes tendencias hacia el consumo de alimentos libres de sintéticos, pesticidas, herbicidas y fertilizantes artificiales. Por ello (Orduña & Sierra-Carmona, 2020) propone el diseño y desarrollo de un sistema de cultivo con control automático (software) en conjunto de su respectiva HMI (acrónimo de Human Machine Interface, interfaz hombre-máquina) disponiendo su funcionamiento para satisfacer las necesidades de cultivo de manera inteligente, con un impacto de producción en masa a través del control y monitoreo de variables: pH, temperatura, nivel, presión y flujo de agua. Concluye que la incorporación de un sistema automatizado de cultivo, que permita monitorear y controlar las variables ambientales del proceso productivo, amplía su panorama y perspectiva hacia la implementación de buenas prácticas de agricultura y sustentabilidad en torno a la inocuidad de los alimentos, el impacto ambiental, salud y seguridad.

Según (Llugsha Siza & Moreno Moreno, 2020) en su proyecto de investigación menciona que el control y el monitoreo de las variables involucradas de la planta, son alternativas que los agricultores deben poner en práctica en sus cultivos, con la finalidad de ahorrar recursos hídricos y evaluar el crecimiento de forraje de semillas germinadas en variedad de cereales. Propone un

sistema de riego por aspersión aplicado a la agricultura hidropónica, desarrolla una HMI (interfaz humana - máquina), que permite el monitoreo continuo de la humedad, temperatura. para tener un área climatizado de cultivo de forraje, al mismo tiempo el control de un Timer para el sistema de riego. Finalmente, concluye con el diseño del módulo consta de un invernadero tipo capilla, desarrollado bajo los requerimientos de un sistema hidropónico según la (FAO), donde comprobó las variables óptimas de cultivo, que ayudará a la producción tanto en tiempo, calidad, libre de fertilizantes y de menor costo.

2.2 Huertos urbanos

Los huertos urbanos son espacios urbanos dedicados al cultivo cualquier tipo y variedades de plantas en pequeña escala, con el objetivo de obtener productos de calidad, naturales y aptos para el consumo humano. La agricultura urbana se refiere a la producción de alimentos dentro de los límites de la ciudad: En patios, terrazas, huertos comunitarios y huertos frutales, así como en espacios públicos en desuso; la mayoría de las veces se trata de una actividad en pequeña escala repartidos por toda una ciudad (Hernández, 2006).

Esta práctica agrícola con el tiempo se ha ido desarrollando dentro del ambiente urbano y se ha aplicado en la producción de alimentos, tal como se aprecia en la Figura 1. Contribuye a una independencia alimentaria y proporcionar alimentos seguros debido a que promueve un ahorro de energía y una producción local de alimentos, la agricultura urbana es una actividad muy valiosa para el desarrollo de una comunidad sostenible (Muñiz, 2019).



Figura 1: huerto urbano de cultivo de Frutas y hortalizas en el Trebol, centro de Quito.

Fuente: (Chamba, 2020)

Los huertos urbanos es una actividad que se ha desarrollado a nivel mundial por diversos factores sociales y económicos. Por lo que varias organizaciones internacionales han observado en la agricultura urbana un gran potencial de desarrollo. La FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) junto con la OMS (Organización Mundial de la Salud) y el Programa de Gestión Urbana (PNUD) en varios países han desarrollado diversos programas promoviendo la agricultura urbana como un medio para fortalecer la colaboración comunitaria, mejorar la calidad de vida de las personas como método de alivio para erradicar la pobreza en un ambiente ecológico y sostenible (Hidrovo & María, 2012).

2.2.1 Tipos de Huertos Urbanos

A lo largo del tiempo las personas han logrado encontrar nuevas formas para crear sus cultivos teniendo en cuenta los diversos factores que afectan dichos cultivos como la ubicación, clima espacio y entre otras necesidades, cada uno se crea con un objetivo y función en específico y adoptan múltiples formas y distintos métodos y recursos.

2.2.1.1 Huertos comerciales

Estos tipos de huertos son para un uso comercial o con un fin de lucro. Los que se cosecha son exclusiva para su venta, como se puede observar en la Figura 2. Por lo general las personas que crean este tipo de cultivos tiene sus clientes los cuales frecuentemente compran y esto pueden ser de restaurantes, tiendas, personas comunes, entre otros. Incluso algunas personas o agricultores urbanos llegan a alquilar espacios específicos de dichos huertos con intereses similares (De los Santos, 2019).



Figura 2: Huerto comercial de frutas y hortalizas en cantón el Pangui, Zamora.

Fuente: (La Hora, 2022)

2.2.1.2 Huertos comunitarios

Esta idea de tipo de huertos urbanos nace de la década de los setenta cuando los huertos urbanos y jardines toman un resurgimiento en Estados Unidos, en un contexto de crisis económica y problemas de industrialización e urbanización, en donde se producía un abandono y degradación de espacios residenciales especialmente en barrios de escasos recursos, tal como se puede apreciar en la Figura 3. Estos huertos son una herramienta de apoyo para las personas de una comunidad, en relación a la calidad ambiental, la integración social y la educación ambiental (Morán Alonso & Hernández Aja, 2011).



Figura 3: Huerto comunitario en la Comuna Miraflores dentro del Parque Metropolitano, Quito.

Fuente: (Carrera, 2022)

2.2.1.3 Huertos escolares

Son espacios utilizados para el cultivo situados dentro de los centros educativos, sirven como una herramienta para la educación ambiental de los estudiantes y mediante estos huertos buscan hacer llegar a los alumnos adquirir conocimientos y valores como el estudio de técnicas de cultivo y variedad de plantas, cuidado del medio ambiente, integración social y ecología.

En la figura 4, se muestra el cuidado de un huerto escolar de una unidad educativa ubicada en la ciudad de Guayaquil.



Figura 4: Huerto escolar de la Unidad Educativa Santiago Mayor, Guayaquil.

Fuente: (Torres, 2021)

2.2.1.4 Huertos con fines terapéuticos

Los huertos permiten establecer contacto con la naturaleza, además de aportar muchos beneficios al medio ambiente también los aporta para el ser humano. La creación y cuidado de un huerto puede ser una actividad que puede cumplir una función terapéutica en personas enfermas o rehabilitación social. Esta práctica se está llevando a cabo en centros de inserción social, hospitales, centros de discapacitados, prisiones, etc. (Grässel & Manuel, 2020).

En la Figura 5, se muestra el uso de un huerto como iniciativa por parte del municipio de Quito de una actividad terapéutica para personas con discapacidad.



Figura 5: Huerto terapéutico para personas con discapacidad en el sur de Quito.

Fuente: (Municipio de Quito, 2021)

2.2.1.5 Huertos domésticos

Son pequeños espacios que se construyen en el interior o exterior de una vivienda, dependiendo de la ubicación, estos se los suele construir en jardines, en las azoteas o terrazas, de forma vertical, en ventanas, etc. Estos tienen como objetivo el satisfacer consumo propio y para uso decorativo. En la Figura 6 se puede observar un huerto doméstico en la ciudad de Guayaquil



Figura 6: Huerto domestico de cebollas en Guayaquil.

Fuente: (El Universo, 2015)

2.3 Sistemas basados en microcontroladores

La tecnología es un campo que a lo largo del tiempo ha evolucionado en gran cantidad, con ello los sistemas embebidos han adquirido un gran papel fundamental en el desarrollo de sistemas electrónicos digitales, debido a que los sistemas digitales de control disponen de un microcontrolador que es el encargado de controlar el sistema y del manejo de periféricos.

2.3.1 Sistemas embebidos

Un sistema embebido es un circuito electrónico que está diseñado específicamente para realizar una tarea determinada. Estos sistemas esencialmente están basados en un microcontrolador o microprocesador que su función es la de controlar una o más funciones de un sistema y contiene periféricos para interconectarse con otros dispositivos. Los sistemas embebidos constan de una parte de hardware que contiene los dispositivos

electrónicos necesarios para funcionar correctamente. Como lo mencionado antes, dentro de esta parte electrónica del hardware está presente un dispositivo programable. Este dispositivo programable puede ser un microcontrolador, microprocesador, DSP (Procesador de Señales Digitales) o FPGA (Field Programmable Gate Array). Estos dispositivos ejecutan el programa llamado firmware, el cual contempla una parte de la funcionalidad del sistema (Lajara & Sebastiá, 2014).

Los dispositivos programables, por lo general, para establecer comunicación con otros dispositivos requieren de ciertos protocolos de comunicación, es por ello que los sistemas embebidos suelen incorporar diversos puertos de comunicación como lo son los puertos serie, I2C, UART, buses SPI, USB, WIFI, etc.

En la actualidad, los sistemas embebidos están en continuo desarrollo debido a la gran incorporación de nuevas tecnologías y nuevos dispositivos. Por lo que ofrecen un sinnúmero de posibilidades de aplicaciones y muchos de estos sistemas poseen plataformas de desarrollo en la que se puede implementar el software requerido para un hardware en específico. De las cuales abarcan amplias áreas de aplicaciones como son en los automóviles, electrodomésticos, dispositivos industriales, equipamientos de comunicaciones de voz y datos, dispositivos de audio y video entre otras (Cayssials, 2014).

2.3.2 Microcontroladores

Un microcontrolador es un circuito integrado que en su interior contiene una unidad central de procesamiento (CPU), unidades de memoria (RAM y ROM), puertos de entrada y salida y periféricos, tal como se puede apreciar en la Figura 7. Todas estas partes están interconectadas en el interior del microcontrolador. Además, es capaz de generar su propia señal de sincronismo o de reloj. Se puede decir con toda propiedad que un microcontrolador es una especie de microcomputadora completa encapsulada en un circuito integrado (Centeno, 2014).



Figura 7: Microcontrolador STM32 Cortex

Fuente: (Tolocka, 2021)

2.3.2.1 Características generales de un microcontrolador

Los microcontroladores son una combinación de recursos en lo que conforman un microcomputador. El esquema general de un microcontrolador se compone de tres partes fundamentales: la CPU (Unidad Central de Procesamiento), la memoria y las entradas y las salidas. Todas estas partes están conectadas entre sí mediante un grupo de líneas eléctricas llamados Buses. Estos Buses pueden ser de direcciones (si comunican direcciones de memoria o de las entradas y salidas), Buses de datos (si estos comunican datos o instrucciones) o Buses de control (si estos comunican diversas señales de control). También disponen de un oscilador que es el encargado de generar pulsos que sincronizan todas las operaciones internas del microcontrolador. La velocidad de la ejecución de las instrucciones de un programa está relacionada con la frecuencia del oscilador del microcontrolador (Valdes & Areny, 2007).

Un microcontrolador se conforma normalmente de los siguientes componentes:

- Procesador o CPU (Unidad Central de Procesamiento).
- Memoria RAM dedicado para el almacenamiento de datos.
- Memoria para almacenar el programa de tipo ROM/PROM/EPROM.
- Líneas de entradas y salidas para comunicación con el exterior.
- Varios módulos para el control de periféricos (temporizadores, puertas serie y paralelo, ADC o conversor analógico / digital, salidas PWM).
- Generador de impulsos de reloj para sincronizar el funcionamiento del sistema.

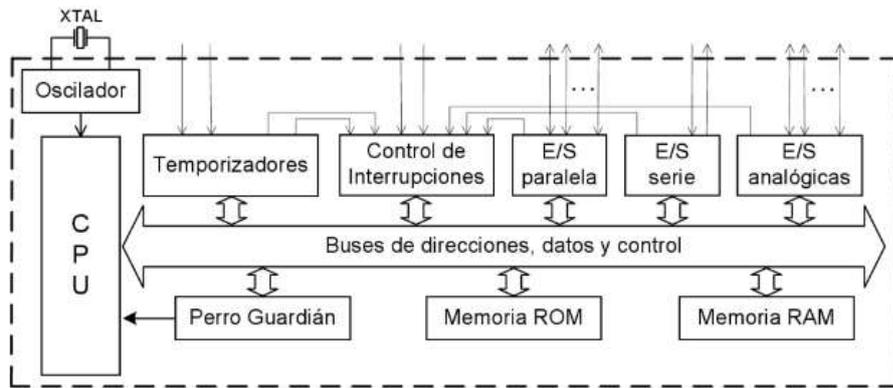


Figura 8: Esquema general de un microcontrolador

Fuente: (Valdes & Areny, 2007)

2.3.2.2 Arquitecturas clásicas internas

La Arquitectura que inicialmente adoptaron los microcontroladores es la arquitectura clásica de Von Neumann. Esta se caracteriza por estar conformada por una sola memoria principal en donde se almacenan los datos e instrucciones de forma indistinta. Para acceder a esta memoria se hace a través de un único sistema de buses que es el de direcciones, datos y control. En la figura 5 se puede observar un diagrama de bloques de la interacción de la memoria con la unidad central de procesamiento.

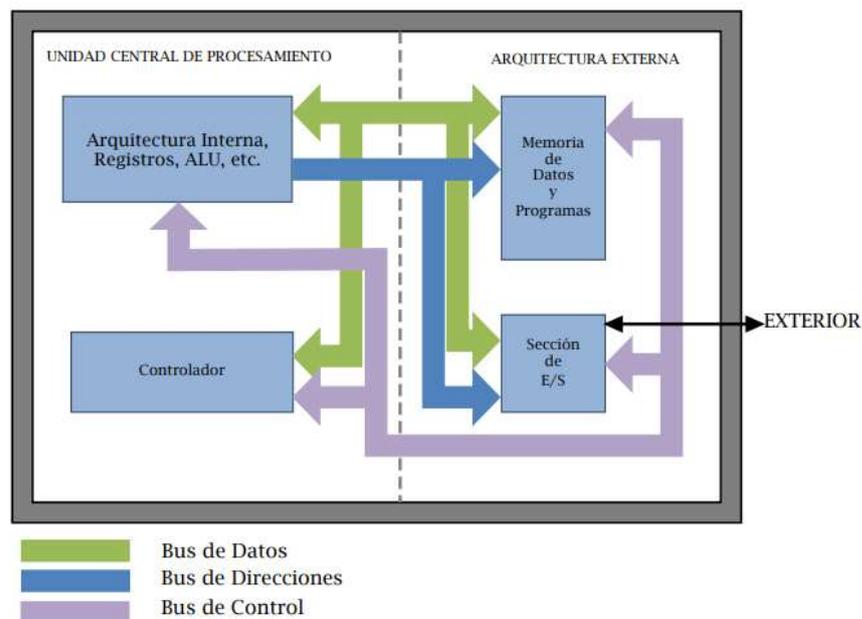


Figura 9: diagrama de Arquitectura Von Neumann

Fuente: (Osio et al., 2020)

Otra arquitectura clásica es la Arquitectura Harvard, la cual se ha ido imponiendo a lo largo del tiempo. Esta arquitectura se caracteriza por tener memorias separadas independientes: una de ellas contiene solo las instrucciones; y otra, solo los datos. Las memorias disponen de sus respectivos buses de acceso y es posible hacer operaciones de lectura y escritura simultáneamente en estas memorias como se puede observar en la figura 6. Con el tiempo muchos de los microcontroladores usan esta estructura de la arquitectura Harvard.

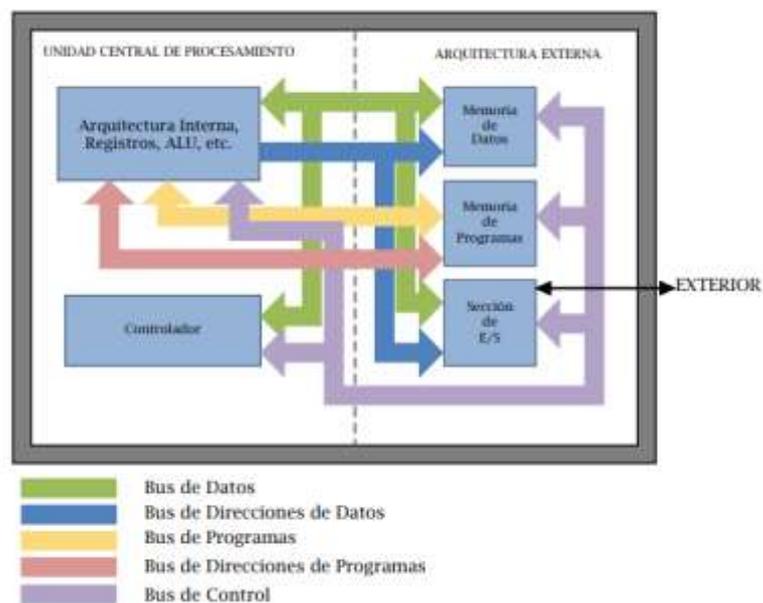


Figura 10: Diagrama de Arquitectura Harvard

Fuente: (Osio et al., 2020)

También existe la arquitectura ARM la cual combina la estructura de los buses de las arquitecturas antes mencionadas y es utilizada para el diseño de microcontroladores de 32 bits. Hoy en día la mayoría de los principales fabricantes de semiconductores utilizan el núcleo ARM como su base para la producción de sus microcontroladores.

2.4 Sensores y actuadores en huertos urbanos

Los sensores y actuadores son fundamentales en los sistemas de control de cualquier proceso, ya que estos sirven para controlar y monitorear las variables de un sistema. En la agricultura nace la necesidad de optimizar el uso de recursos disponibles es por ello que existen varios parámetros para

medir debido a las diferentes variables a tener en cuenta como son el mantenimiento del suelo de cultivo, las plantas y de todo el entorno.

En los huertos urbanos hay ciertas variables presentes en las que se necesita elementos para la recopilación de datos, es por ello que se necesitan sensores para el control de dichas variables como son las de control de pH, temperatura, humedad, etc. Aparte de esto también se necesitan elementos de accionamientos para el tema del riego y poder controlar la circulación del agua a través del huerto, estos elementos serían bombas y electroválvulas.

2.4.1 Sensor de pH

Un sensor de pH se puede describir como una herramienta eléctrica que sirve para medir la concentración de iones de hidrógeno en el suelo. Es decir, un medidor de pH se basa en una prueba de voltaje para determinar la concentración de niveles de iones de hidrógeno y, por lo tanto, el pH, tal como se muestra en Figura 11. Este elemento se utiliza para comprobar la acidez o alcalinidad del suelo. El proceso de medición lo realiza en base a que una solución que contiene más iones hidrógeno se mantiene ácida, mientras que la solución que contiene menos iones hidrógeno se mantiene alcalina. Por lo general los valores de pH varían del 1 al 14. Un valor de pH 1 significa que es muy ácido, un valor que sería extremadamente alcalino es el de un pH de 14. Como solución neutra, el agua pura tiene un pH de 7. El medidor de pH se utiliza para determinar el pH de diferentes muestras de suelo (Patil et al., 2021).

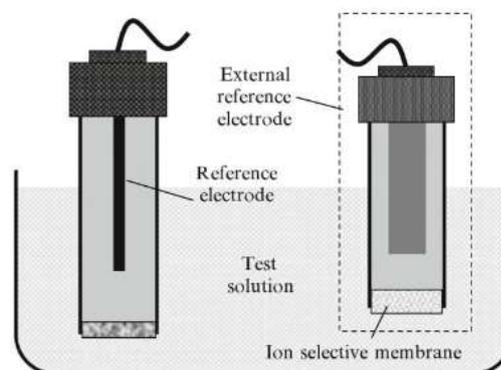


Figura 11: Sensor de pH

Fuente: (Kalantar-zadeh, 2013)

2.4.2 Sensor de temperatura

La temperatura tiene un rol de gran importancia en muchos procesos físicos, químicos y biológicos. Es por eso que los sensores de temperatura son muy utilizados cuando se trata del control de temperatura de cualquier proceso. Un sensor de temperatura es un dispositivo, que normalmente suelen ser termopares o detector de temperatura resistivo, como se muestra en la Figura 12, que proporcionan una medición de la temperatura a través de una señal eléctrica (Pan & Makinwa, 2022).

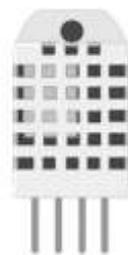


Figura 12: Sensor de temperatura DHT22

Fuente: (Patil et al., 2021)

2.4.3 Sensor de humedad

Los sensores de humedad se usan con la finalidad de cuantificar la humedad del suelo, tal como se puede observar en la Figura 13, este es un tema de gran importancia en la agricultura, ya que esto ayuda al correcto manejo de los recursos hídricos de forma óptima. Este sensor se caracteriza por utilizar una capacitancia para medir el nivel de agua en el suelo, se los suele llamar sensor dieléctrico de humedad dado que mide la consistencia dieléctrica del suelo (permisividad dieléctrica), una propiedad eléctrica que depende bastante del contenido de humedad de un material (Patil et al., 2021).

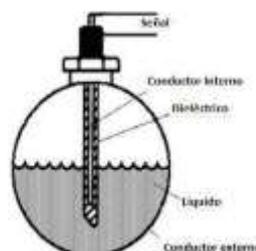


Figura 13: sensor capacitivo de humedad

Fuente: (Portilla Guzmán, 2016)

2.4.4 Electroválvulas

Una electroválvula se la puede describir como una válvula electromecánica, que tiene como objetivo de controlar el paso de un fluido por un conducto. Estas válvulas se caracterizan por tener un dispositivo basado en una bobina solenoide que es la encargada de la apertura y cierre de la válvula. Generalmente solo tiene dos posiciones (abierto / cerrado), como se muestra en la Figura 14. Las electroválvulas son utilizadas en una diversidad de aplicaciones, pero conforma una de las partes más importantes en los sistemas de automatización de riego, ya que, de ellas se depende del control del flujo de cualquier tipo de fluido (Pizarro, 2015).



Figura 14: Electroválvula

Fuente: (Viagua, 2019)

2.4.5 Electrobombas

La función principal de una bomba hidráulica es la transformar la energía mecánica que por lo general es producida por un motor eléctrico, en energía hidráulica. Lo que permite transportar un fluido de un punto a otro. Este tipo de bombas actúan con un conjunto de paletones que rotan dentro de la coraza y distribuyen la energía mecánica al fluido por la potencia o fuerza de la acción (García Ibañez & Valderrama Contreras, 2019). En la Figura 15 se muestra una electrobomba.



Figura 15: Electrobomba

Fuente: (AdminTameco, 2018)

2.5 Interfaz humano maquina (HMI)

Una interfaz hombre maquina es una representación entre la interacción entre un usuario y un determinado hardware. Si bien se puede decir que este término se atribuye a cualquier pantalla que permita a una persona interactuar con una maquina o dispositivo. El HMI es un término que comúnmente tiene un contexto de uso a nivel industrial. Este tipo de interfaz graficas muestran datos en tiempo real y permiten al usuario controlar una maquina o dispositivo por medio de estas.

La utilización de un HMI nace esencialmente de la necesidad de estandarizar la forma de monitorear y controlar varios sistemas remotos. Un controlador puede realizar de forma automática el control de un proceso programado que contiene múltiples variables, estos no tienen una manera estándar de observar la información hacia un usuario. Un dispositivo HMI permite la obtención de datos por medio de gráficos y es posible controlar funciones de un sistema.



Figura 16: Pantalla HMI ABB

Fuente: (Alfocea Jimenez, 2019)

2.5.1 Funciones del HMI

Una interfaz hombre maquina tiene presenta varias funciones para un operario, estas son las siguientes:

- **Monitorización:** esta función sirve para obtener y mostrar los datos e información de un sistema o proceso en tiempo real. Estos pueden ser representados en forma de gráficos, números o texto de una manera fácil de interpretar para el usuario.

- **Supervisión:** esta función permite a mano de la monitorización de poder ajustar los parámetros del proceso del sistema.
- **Control:** Es la manera de ajustar valores adecuados al proceso y la capacidad de controlar accionamientos de un proceso.
- **Alarmas:** Permite atender eventos importantes dentro del proceso y poder reportarlos para establecer una acción determinada.

2.5.2 Interfaz de hardware

La interfaz de hardware es la que se realiza en los dispositivos para el ingreso de información o datos, estos sean procesados y luego entregados por parte del usuario por lo general se realizan por medio de teclados, ratones y algunas pantallas.

2.5.3 Interfaz de software

Una interfaz de software es la interacción del usuario con la aplicación, con el objetivo de entregar información del proceso y herramientas de control al usuario, es decir lo que el usuario observa en una pantalla. Habitualmente se indican por medio de paneles o pantallas.

2.5.4 Interfaz software-hardware

Esta permite al usuario la conexión con el proceso del sistema. Permite recibir la información de forma legible y dar instrucciones al dispositivo, ya que se encarga de traducir al lenguaje de las máquinas.

2.6 Lenguaje de Modelado Unificado

El lenguaje unificado de modelado (UML) es un lenguaje de modelado para un dispositivo o artefacto de un sistema de software de forma visual, con el fin de especificarlos, construirlos y documentarlos. El cual capta los conocimientos y decisiones sobre el sistema que se pueda construir. Su uso sirve para entender, diseñar configurar y controlar la información de un sistema (Chaparro & Vicente, 2020).

2.6.1 Diagrama de casos de uso

Los diagramas de casos de uso se caracterizan por mostrar el comportamiento del sistema en base a los usuarios que interactúan con el sistema. Estos representan las interacciones entre el sistema, los sistemas externos y los usuarios. En pocas palabras es una descripción grafica de quien utiliza el sistema y la manera de interactuar con el sistema. Un caso de uso representa a un objeto de un sistema y sirve para describir la secuencia de actividades o interacciones con el usuario que el sistema puede realizar y lograr un objetivo para un actor que interacciona con el sistema.

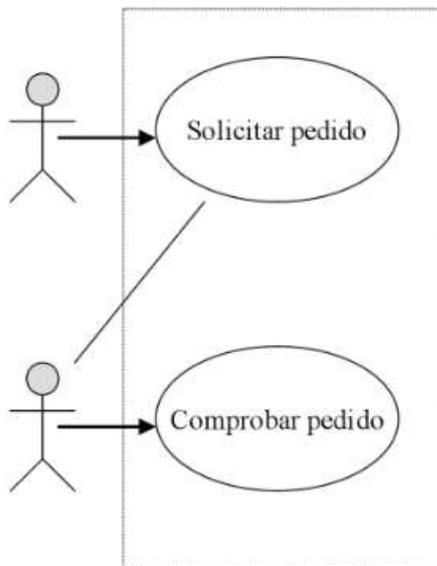


Figura 17: Ejemplo de diagrama de caso de uso

Fuente: (Alarcón, 2010)

En la figura 13, se puede observar la forma de representar un diagrama de caso de uso, los casos de uso se lo presentan dentro de óvalos. Los actores van conectados por medio de líneas a los casos de uso que van a llevar a cabo. También se puede identificar que los casos de uso van dentro de un rectángulo, pero los actores están fuera del rectángulo. Este se asimila a las fronteras del sistema y los actores esta fuera del sistema. En los casos de uso se contempla que no se pone los detalles de estos, a su vez, se precisa que se los almacene por separado.

2.6.2 Diagrama de secuencias

Los diagramas de secuencia son usados para mostrar las comunicaciones dinámicas entre los objetos cuando ocurre la ejecución de una tarea. Estos tipos de diagramas permiten observar el orden temporal en el que los mensajes se envían entre los objetos para lograr una determinada tarea (Pressman, 2010).

Según (Rumpe, 2016), los diagramas de secuencia se utilizan para modelar interacciones entre objetos. Un diagrama de secuencia describe en qué orden se ejecutan las llamadas a métodos y cuándo terminan. Por lo tanto, de forma similar a los diagramas de estado, los diagramas de secuencia modelan aspectos del comportamiento. Sin embargo, hay algunas diferencias esenciales, ya que, un diagrama de secuencia se centra en la interacción entre objetos, pero no se representa el estado interno de un objeto. Los diagramas de secuencia se utilizan para analizar los requisitos y definir pruebas antes o después de la implementación de un sistema. Son una gran herramienta al momento de modelar un sistema, dado que, ilustran situaciones específicas, deseadas o no deseadas y comportamientos erróneos, son muy adecuados como punto de partida para los casos de prueba. En la Figura 18 se muestra un ejemplo de un diagrama de secuencias.

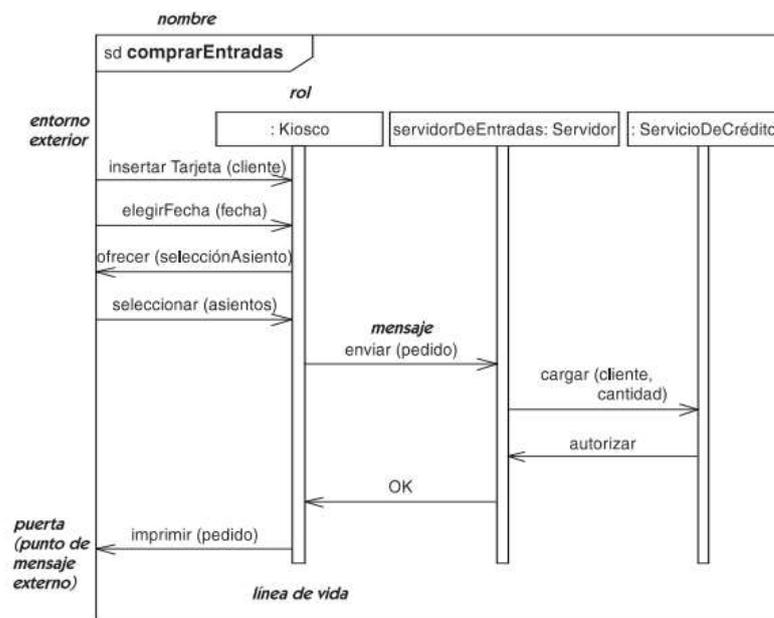


Figura 18: Ejemplo de un diagrama de secuencias

Fuente: (Rumbaugh, 2007)

En la figura 18, muestra la estructura del diagrama de secuencia como un gráfico de dos dimensiones. En donde la dimensión vertical es el eje del tiempo, que avanza hasta el final del gráfico. La dimensión temporal muestra los roles que son la representación de los objetos. Los roles se representan por medio de una columna vertical que contiene un encabezado con el título del rol y una línea vertical llamada línea de vida. esta línea se representa con una línea discontinua durante el tiempo que exista un objeto.

2.6.3 Diagrama de estados

Los diagramas de estados sirven para describir los estados que puede adquirir un objeto, durante su ciclo de vida, el comportamiento sobre esos estados y los eventos que pueden causar los cambios de estado de un objeto. Es por ello que cada objeto se trata como una entidad aislada que se comunica con el exterior detectando eventos y respondiendo a ellos. Los eventos simbolizan los tipos de cambios que un objeto puede detectar. Es decir, cualquier cosa que influya sobre un objeto se la puede caracterizar como un evento. Un estado se describe como la consecuencia de las actividades que ha realizado anteriormente un objeto, y responden cualitativamente de la misma forma a los eventos que suceden (Rumbaugh, 2007).

Los diagramas de estados son gráficos conformados por estados y transiciones. Los estados van representados como rectángulos redondeados y una transición se representa por medio de flechas que conectan a los estados. Una transición representa un cambio de estado, o cómo pasar de un estado al siguiente. Un estado está activo cuando se ingresa a través de una transición y se vuelve inactivo cuando se sale a través de una transición. El evento que provoca el cambio de estado, o disparador, se escribe a lo largo de la flecha de transición. Para comprender un diagrama de estados se hace referencia en la figura 19, la figura muestra un diagrama de estados de un termostato.

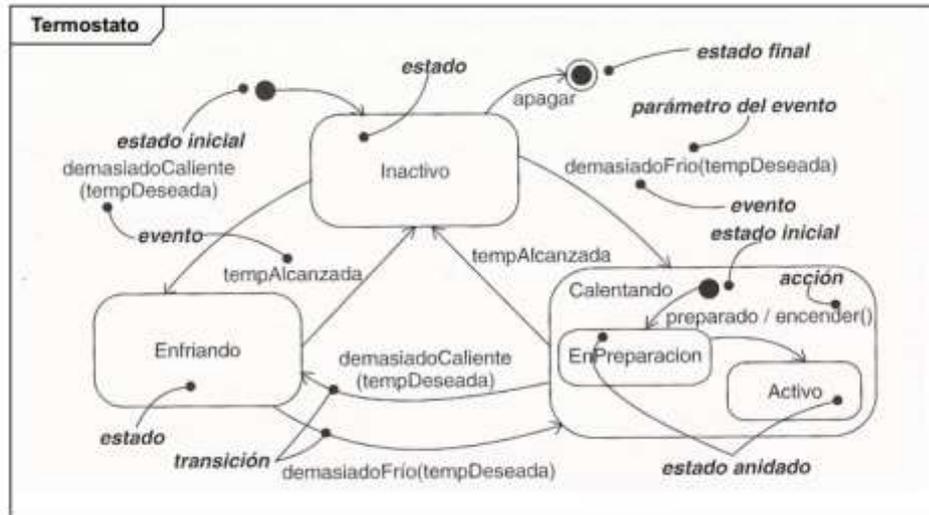


Figura 19: Ejemplo de diagrama de estados de un Termostato.

Fuente: (García-Holgado et al., 2019)

2.7 Redes de Petri

Las Redes de Petri (RdP), son una herramienta que nacen del área de las ciencias de la computación por Carl Adam Petri. Estas constituyen una herramienta fundamental para simular propiedades dinámicas de los sistemas complejos mediante modelos gráficos de procesos concurrentes y distribuidos. Una Red de Petri es un método para modelar sistemas a eventos discretos con el objetivo de controlar, evaluar y optimizar diferentes procesos. Las redes de Petri son gráficos orientados que están estructurados por lugares y transiciones que se encuentran unidos por arcos, donde los lugares representan los estados del modelo, los arcos indican la dirección de evolución de la Red de Petri y las s transiciones representan las entradas del sistema; de su activación o desactivación dependerá el funcionamiento de la red (Castellanos Arias & Solaque Guzmán, 2010).



Figura 20: Elementos de una Red de Petri.

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

2.7.1 Estructura de una Red de Petri

Las Redes de Petri están estructuradas por dos tipos de nodos, llamados lugares y transiciones. Un lugar se representa con un círculo y una transición con una barra. Los lugares y las transiciones están conectados por arcos. El número de lugares es finito y no cero. El número de transiciones también es finito y no cero (en ciertos casos, es posible que tengamos que considerar una RdP que no tienen lugar o no tienen transición). Un arco indica una dirección y conecta un lugar con una transición o viceversa. En otras palabras, una Red de Petri es un gráfico bipartido, es decir, los lugares y las transiciones se alternan en un camino formado por arcos consecutivos. Un arco que está dirigido posee un número que indica su peso, el cual determina la cantidad de marcas que consume de un lugar o deposita en un lugar, siempre y cuando se haya disparado una transición habilitada. Los arcos dirigidos sin número se entienden que consumen o depositan una marca. Las marcas se representan en forma gráfica como puntos negros que se ubican dentro de cada lugar. Para comprender de una mejor forma la estructura de una Red de Petri, en la figura 21, se puede observar una Red de Petri con cuatro lugares, cuatro transiciones, cinco arcos dirigidos de peso uno y cuatro arcos dirigidos de peso dos.

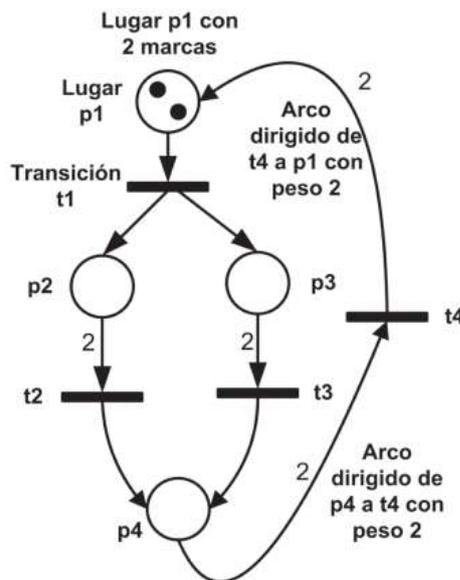


Figura 21: Ejemplo de estructura de una Red de Petri.

Fuente: (Murillo-Soto, 2008)

2.7.2 Semántica de las redes de Petri

Según (Cohen, 2001), los elementos de una Red de Petri tienen generalmente las siguientes interpretaciones:

- Las marcas representan recursos. Estos pueden ser tanto recursos físicos, como no materiales, por ejemplo: información, mensajes, etc.
- Los lugares sirven para que los recursos puedan esperar o almacenarse.
- Las transiciones simbolizan acciones que consumen recursos para después transformarlos o producir nuevos recursos.
- los pesos de los arcos que van de un lugar a una transición, representan el número mínimo de recursos de la clase almacenada en dicho lugar que son necesarios para llevar a cabo la acción representada por la transición.
- los pesos de los arcos que van de una transición a un lugar representan el número de recursos de la clase que es almacenada en dicho lugar que son producidos al llevarse a cabo la acción que representa la transición.
- el número total de marcas en una Red de Petri no necesariamente debe conservarse, es decir, una transición puede representar la operación de ensamblaje de una parte compleja a partir de partes elementales, o bien inversamente, puede representar el desguace de una parte compleja en partes elementales. También los mensajes pueden combinarse para producir un nuevo mensaje (por ejemplo, sumar dos números) o un mismo mensaje puede enviarse a varios lugares.

2.7.3 Tipos de nodos de las Redes de Petri

Según (García Moreno, 2001), las Redes de Petri están compuestas por distintos tipos de nodos, tal como se muestra en Figura 22. Un lugar que posee varios arcos ya sea de entrada o de salida se denomina nodo OR. Estos pueden presentarse en dos casos particulares:

- **Nodo de Selección:** es aquel nodo OR que solo tiene un arco de entrada y varios de salida.

- **Nodo de Atribución:** es aquel nodo OR que tiene varios arcos de entrada y uno solo de salida.

Las transiciones que tienen varios arcos de entrada y de salida se los denomina nodos AND. Como en el caso anterior, estos pueden presentar dos casos particulares:

- **Nodo de Distribución:** es aquel nodo AND que presenta un solo arco de entrada.
- **Nodo de Conjunción:** es aquel nodo AND que presenta un solo arco de salida.

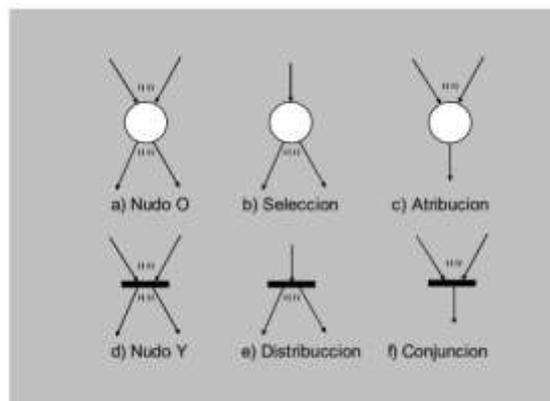


Figura 22: Tipos de nodos de las Redes de Petri.

Fuente: (Muñoz Rodríguez & Riccio Molinares, 2005)

2.7.4 Propiedades de la Redes de Petri

La propiedades de las Redes de Petri se puede describir en dos grupos como lo detalla (Murillo-Soto, 2008), en su estudio sobre estas, y se detallan a continuación.

2.7.4.1 Propiedades dinámicas

- **Alcanzabilidad:** la alcanzabilidad es una de las principales propiedades dinámicas y consiste en que un marcado M_n es alcanzable por un marcado M_0 si existe una secuencia de disparos que transforme M_0 en M_n .
- **Limitable o Acotada:** se puede llamar a una red limitada si el número de marcas de la red en cada lugar no excede un número finito k para

cualquier marcado alcanzable desde M_0 y existirá dentro de todos los posibles marcados de la red. Se dice que una red es segura si es acotada a uno, esto es si todos los marcados posibles de los lugares poseerán por lo menos una marca.

- Vivacidad: esta propiedad indica que una red viva garantiza una operación libre de bloqueos. Es decir, no importa que marcado haya sido alcanzado, siempre será posible una nueva secuencia σ de disparos y alcanzar un nuevo marcado.
- Reversibilidad y estado inicial: Una RdP se dice que es reversible cuando M_0 es alcanzable desde M_n . De esta forma una RdP reversible es aquella donde siempre es posible alcanzar nuevamente el marcado inicial o estado inicial del sistema.
- Persistencia: Se dice que una RdP es persistente si para cualquiera de dos transiciones habilitadas, el disparo de una transición no deshabilitará a la otra transición.

2.7.4.2 Propiedades estáticas

- Vivacidad Estructural: Esta propiedad describe que una RdP es estructuralmente viva si tiene un marcado inicial para N.
- Controlabilidad: Una Red de Petri es completamente controlable si cualquier marcado es alcanzable desde cualquier otro marcado.
- Limitación o acotado estructural: esta propiedad describe que una RdP es limitada estructuralmente si es limitada para cualquier conjunto finito de marcados iniciales M_0 .
- Repetibilidad: Se considera una Red de Petri repetible si existe un marcador M_0 y una secuencia de disparos.
- Consistencia: Una RdP es consistente si existe un marcado M_0 y una secuencia de disparos reversible.

CAPITULO III: DISEÑO DEL SISTEMA

En este capítulo se analiza el diseño para desarrollar un sistema de supervisión a través de un HMI para un huerto urbano. Para la proyección del sistema se considera: descripción, características, funciones y la arquitectura del sistema. También se muestra el modelado del sistema a desarrollar para verificar su funcionamiento para la implementación.

3.1. Consideraciones iniciales de diseño

Para analizar el diseño del sistema debemos puntualizar las diversas características y funciones del sistema para poder comprender el funcionamiento de este. De esta manera se proporciona una información específica de los componentes al sistema a desarrollar.

3.1.1 Descripción del sistema

El presente trabajo propone el estudio del diseño de un sistema para supervisar a través de una pantalla HMI un huerto urbano, el cual dispone de su sistema de automatización. Como todo cultivo tiene diversas variables para poder controlar para su respectivo mantenimiento y cuidado del mismo. Por medio de sensores y actuadores podemos corregir dichas variables para lograr un cuidado óptimo del cultivo y facilitar a las personas el mantenimiento de los huertos.

El sistema se lo puede describir como una interfaz de usuario que por medio de una pantalla táctil una persona puede visualizar y monitorear constantemente los valores de las variables que captan los sensores y puede tomar una acción correctiva de las mismas. Para medir las variables que influyen en el cuidado del cultivo se utilizarán sensores para medir la humedad, temperatura y el pH. Estos serán fundamentales para proyectar los datos en la pantalla para que el usuario pueda conocer el estado del suelo de cultivo.

Por medio de esta interfaz de usuario, la persona establecer un control manual de los actuadores que son bombas de agua, electroválvulas para el riego de los cultivos y ventiladores para el control de la temperatura. No

obstante, la persona podrá establecer una modalidad automática, que, por un rango establecido de los valores de temperatura y humedad, se logrará un control automático de los actuadores del sistema, si sobrepasan o no cumplen con el rango de valores establecido. Esto se logrará con el uso de un microcontrolador que permitirá hacer la interacción de control entre la pantalla hacia los sensores y actuadores. Con el uso del sensor de pH, el sistema podrá obtener el valor de pH presente en el suelo de cultivo y por medio de la pantalla HMI, la persona podrá conocer el nivel de pH presente en el suelo de cultivo. Con ello, logrará tener una alarma o notificación de un nivel incorrecto de pH del suelo de cultivo para que la persona pueda agregar algún aditivo de nutrientes cuando se requiera regular el pH del suelo.

Con ayuda de un diagrama de flujo se puede explicar de una manera intuitiva y simple el funcionamiento de cualquier sistema o proceso, por tal razón se hace el uso de uno para poder comprender de una mejor forma lo descrito anteriormente. En el siguiente diagrama (Figura 23), se observa el diagrama de flujo del sistema descrito.

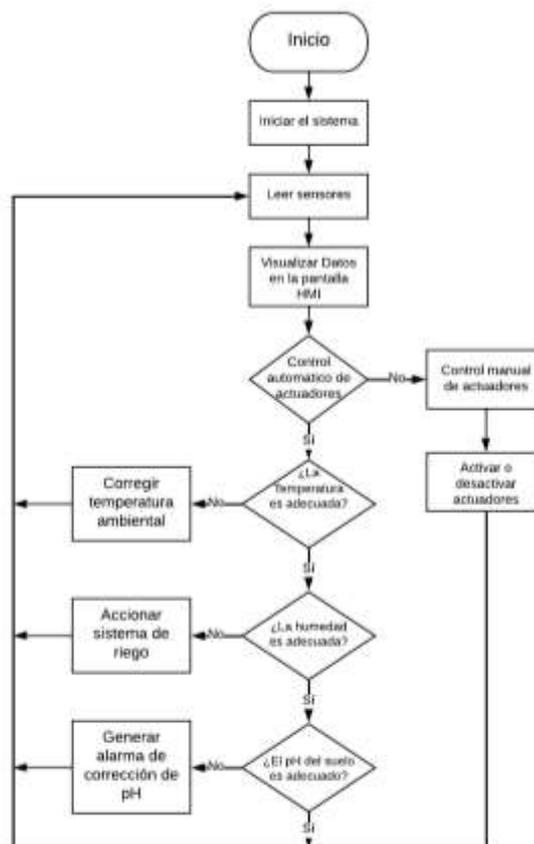


Figura 23: Diagrama de flujo del sistema

3.1.2 Caracterización del sistema

En este apartado se describen las características técnicas específicas de los componentes y dispositivos que formarán el diseño del sistema, a partir de la descripción realizada en el acápite anterior. El sistema propuesto estará conformado por las siguientes características:

- Para la supervisión y monitoreo contará con una pantalla Nextion HMI modelo NX8048P070, la cual es una pantalla táctil capacitiva de tecnología IPS del tamaño de 7 pulgadas. Posee una interfaz serie TTL de 4 pines (+ 5V, TX, RX, GND) para la comunicación y alimentación.
- Se utilizará la tarjeta de Arduino MEGA, ya que esta posee un microcontrolador Atmega2560, con la capacidad de 54 pines digitales de entrada y salida, 16 pines de entradas analógicas, oscilador de 16Mhz y memoria flash de 256 KB y memoria EEPROM 4 KB.
- Para la alimentación de la tarjeta Arduino MEGA se hará el uso de una fuente rectificadora de 110 AC / 60 Hz a 9 V DC. También se utilizará el uso de una fuente rectificadora a 12V DC para alimentar los actuadores.
- Para adquirir los datos de la temperatura ambiental, se utilizará un sensor DHT22, ya que es un dispositivo de buen rendimiento y de bajo costo. Este posee un termistor para medir la temperatura circundante, su voltaje de operación es de 3V – 6V DC, posee un rango de temperatura de -40 a 80°C y una precisión de medición de temperatura de ± 0.5 °C.
- Con respecto a la medida de la humedad del suelo se utilizará un sensor FC-28 permite medir de forma sencilla la humedad del suelo por medio de dos electrodos resistivos. Este posee un voltaje de operación de 3.3V – 5V DC.
- Para medir el nivel de pH del suelo se optó por un sensor GAOHOU PH 0-14. El cual tiene un tiempo de respuesta de ≤ 5 s con un rango de detección de pH de 0 – 14 y un voltaje de operación de 5 V DC.
- Como dispositivos actuadores se utilizará para el riego se hará el uso de una electroválvula con un voltaje de alimentación de 12V DC. Para

la temperatura se usará un ventilador accionado por un relé con una alimentación de 12V DC.

3.1.3 Funciones del sistema (requisitos funcionales)

En este apartado se describen las funciones que desempeña el sistema propuesto, dado que, las funciones son la razón de ser de cada sistema, y se las puede clasificar en dos tipos. En funciones principales que son las acciones más importantes que desempeña el sistema y las funciones secundarias que son un complemento para las funciones principales.

3.1.3.1 Funciones principales

El sistema contara con ciertas funciones principales, las cuales son las más importantes para su correcto desempeño propuesto.

- **Supervisión del sistema:** El sistema permitirá la supervisión y mando por medio de la pantalla HMI y el microcontrolador que podrá adquirir constantemente los datos del sistema y permitir a los usuarios tomar decisiones. Por ejemplo, poder supervisar y modificar el control establecido y los parámetros del mismo.
- **Monitorización del sistema:** Representación de los datos en tiempo real del sistema. Se podrán visualizarlos datos por medio de la pantalla HMI, brindando información constante de las variables de temperatura, humedad y pH.
- **Control de humedad:** Con el uso del sensor de humedad, permitirá establecer rangos adecuados por medio del microcontrolador para que active de forma automática la electroválvula para el riego y controlar la humedad en el suelo.
- **Control de temperatura:** Por medio del sensor de temperatura cuando se exceda el rango de temperatura establecido se activará de forma automática el ventilador para establecer una temperatura ambiental adecuada.
- **Generación de Alarmas:** El sistema tiene la capacidad de generar alarmas de un acontecimiento anormal del proceso y poder

visualizarlos en la pantalla HMI y poner en conocimiento a los usuarios para que puedan efectuar una acción correctiva pertinente.

3.1.3.2 Funciones secundarias

- **Control de actuadores:** la pantalla HMI, al ser táctil se pondrá botones dedicados para poder activar o desactivar la electroválvula o el ventilador de forma manual si los usuarios lo requieren.
- **Control del pH:** Con el uso de un sensor de pH, se podrá establecer que cuando el valor del pH del suelo no sea el adecuado, se muestre una alarma o notificación en la pantalla HMI y con esta información la persona establezca una acción para regular el valor del pH.

3.2. Arquitecturas del sistema

Las arquitecturas del sistema están estructuradas por los dispositivos presentes en el sistema, pueden ser clasificados según su función, hardware y su interfaz de comunicación. Dando una estructura comprensible del proceso del sistema propuesto.

3.2.1 Arquitectura de automatización

La arquitectura de automatización del sistema está estructurada partiendo de la base de la pirámide de automatización, la cual cuenta con tres niveles, los cuales son el nivel de campo, el nivel de control y el nivel de supervisión (HMI).

En el nivel de supervisión está presente la pantalla HMI, la cual permite supervisar todos los datos presentes del sistema, en otras palabras, en este nivel se busca tener una interfaz intuitiva entre el proceso y el usuario facilitando la interacción del proceso en tiempo real.

En el nivel de control se encuentra presente la tarjeta Arduino MEGA, ya que cuenta con el microcontrolador encargado de controlar todos los procesos del sistema. Este elemento constituye el controlador principal del sistema, y al ser uno solo, se puede considerar que la arquitectura del sistema es centralizada.

En el nivel de campo se encuentran presentes todos los sensores y actuadores utilizados en el sistema, entre los sensores tenemos el sensor de temperatura DHT22, el sensor de humedad FC-28 y el sensor de pH PH-014. En la parte de actuadores presente están la electroválvula y el ventilador.

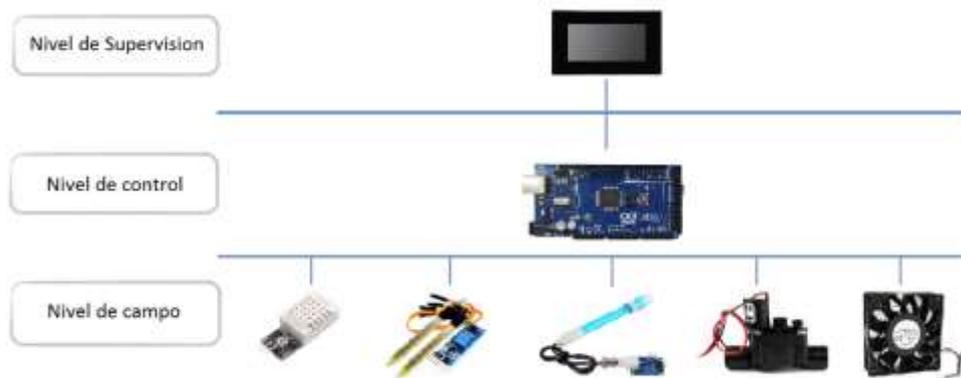


Figura 24: Arquitectura de automatización.

3.2.2 Arquitectura de comunicaciones

En la figura 25, se explica la arquitectura de comunicaciones del sistema por medio de todos los dispositivos presentes y la interfaz de comunicación entre ellos. Al ser el sistema de control centralizado, las comunicaciones tienen como origen el controlador (Arduino Mega), a partir del cual se generan las comunicaciones. Existen dispositivos con capacidad de autonomía, tal es el caso de la HMI, la cual dispone de su propia interfaz y que se comunica con el procesador a través de un enlace RS-232.

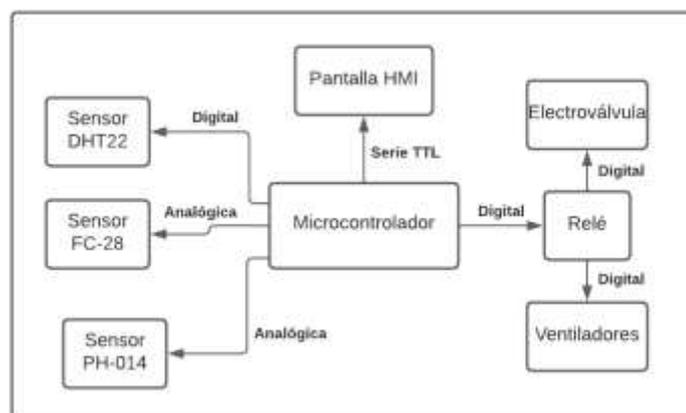


Figura 25: Diagrama de bloques de comunicaciones.

3.2.3 Arquitectura de Hardware

La Arquitectura de hardware se representa por todos los dispositivos físicos del sistema, en el cual el microcontrolador ejecuta ordenes programadas hacia los sensores, actuadores y la pantalla HMI, con el fin de cumplir con su objetivo. En la figura 26, se muestra la arquitectura por medio de un diagrama de bloques.

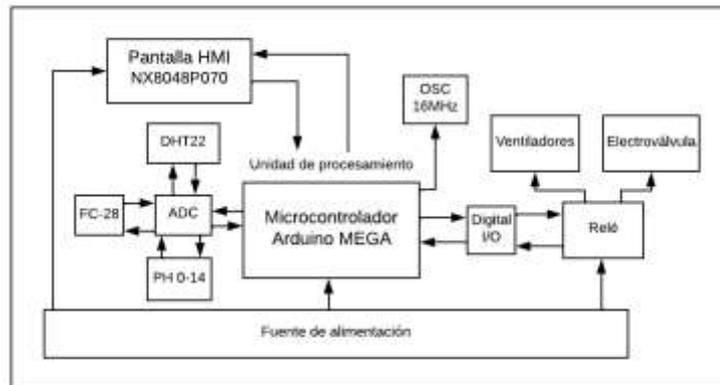


Figura 26: Arquitectura del hardware del sistema.

3.3. Modelado del sistema con UML.

En este apartado se presenta el modelado del sistema por medio de diagramas UML, los que permitirán comprender la funcionalidad del sistema planteado y la interacción con todos los componentes, representado de forma gráfica todos los actores y estados de manera organizada. Para este trabajo se desarrollarán tres tipos de diagramas, los diagramas de casos de uso, diagramas de secuencia y diagrama de estados, de esta manera se pueden representar el diseño y el funcionamiento del sistema de manera completa.

3.3.1 Diagrama de casos de uso

Con el modelado del diagrama de casos de uso podemos definir los actores que interactúan con el sistema y sus acciones llamadas casos de uso. En el siguiente diagrama de casos de uso, los actores que nombran son los usuarios que van estar encargados del huerto y un técnico que está relacionado con el mantenimiento del sistema. En la figura 27, se puede observar el diagrama de casos de uso del sistema propuesto, en el cual se describen los distintos casos de uso que se detallarán a continuación:

- Visualizar datos de los sensores en tiempo real: Este caso de uso se asocia con el actor denominado usuarios, ya que los usuarios encargados del huerto podrán observar los datos de los sensores en tiempo real a través de la pantalla HMI.
- Ingresar parámetros para control automático: esta función se encuentra asociada con los usuarios que por medio de la pantalla HMI pueden establecer un rango de temperatura y humedad y se incluye a esta función el caso de uso de activar o desactivar modo automático de actuadores de riego y ventilación.
- Encender o apagar manualmente actuadores: Este caso de uso se asocia con los usuarios, ya que pueden accionar los actuadores de riego o ventilación manualmente si lo requieren a través del sistema HMI.
- Gestionar alarmas: los usuarios definidos como actores en el diagrama de casos de usos pueden gestionar las alarmas que se presentan en el sistema HMI, teniendo la oportunidad de atenderlas para tomar una acción si es necesario.
- Mantenimiento del sistema: el presente caso de uso está asociado al actor representado por técnico ya que existe la posibilidad de que interactúe con el sistema para hacer mantenimiento del mismo si es requerido.

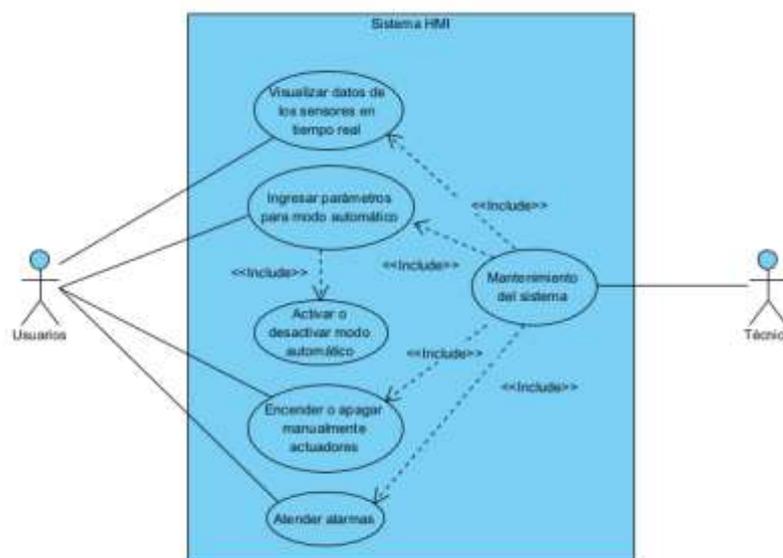


Figura 27: Diagrama de casos de uso del sistema.

3.3.2. Diagramas de secuencia

El diagrama de secuencias permite hacer el modelo de las interacciones de los objetos de manera sucesiva los eventos que se presentan en el sistema. Por medio del diagrama de secuencias se representan los eventos que ocurren entre los objetos del sistema y las interacciones denominados mensajes, mediante líneas estos se muestran para cumplir con una función determinada.

En la figura 28, se puede observar el diagrama de secuencias del sistema, el cual cuenta con los actores definidos en diagrama anterior. El sistema inicia con los usuarios que interactúan con la pantalla HMI y este mostrará los datos de los sensores enviados por medio del microcontrolador. Con la interacción de los usuarios con el HMI pueden accionar los actuadores de forma manual o ingresar un rango de valores para que los actuadores se accionen o apaguen de forma automática. Otra acción es que el HMI muestra las alarmas que se producen en el sistema a los usuarios. El otro actor que interactúa con el sistema es el técnico por una situación de mantenimiento al sistema si se da el caso de algún fallo a este. Por ello verifica el estado del sistema y observa los datos.

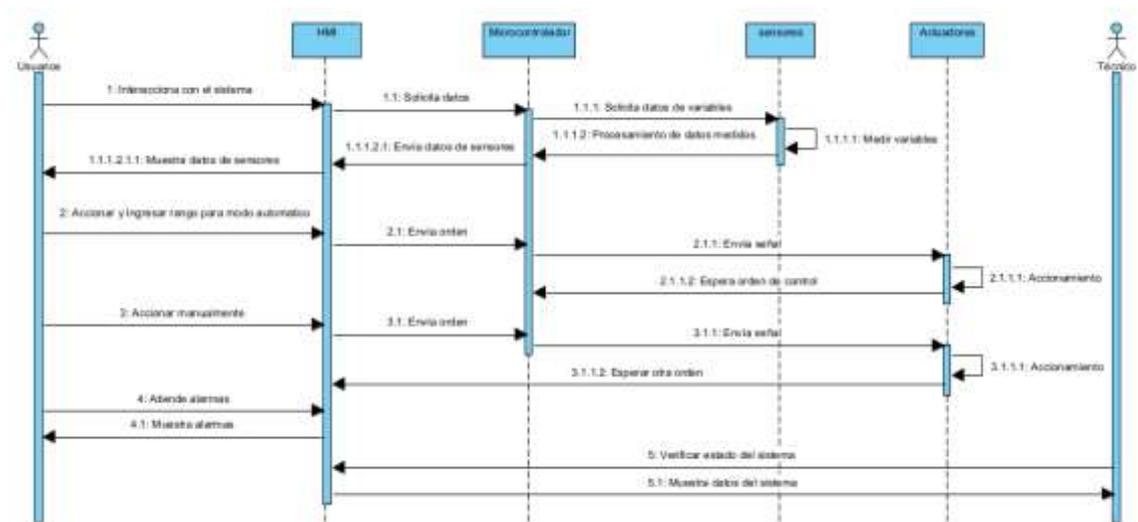


Figura 28: Diagrama de secuencias del sistema.

3.3.3. Diagramas de estado

El diagrama de estados o también denominado máquina de estados permiten explicar los estados por los que pasa sistema al momento de ejecutar todas sus acciones. El diagrama de estados muestra como transitan los eventos del sistema a través de estados representados por rectángulos y transiciones representadas por flechas para completar las actividades del sistema.

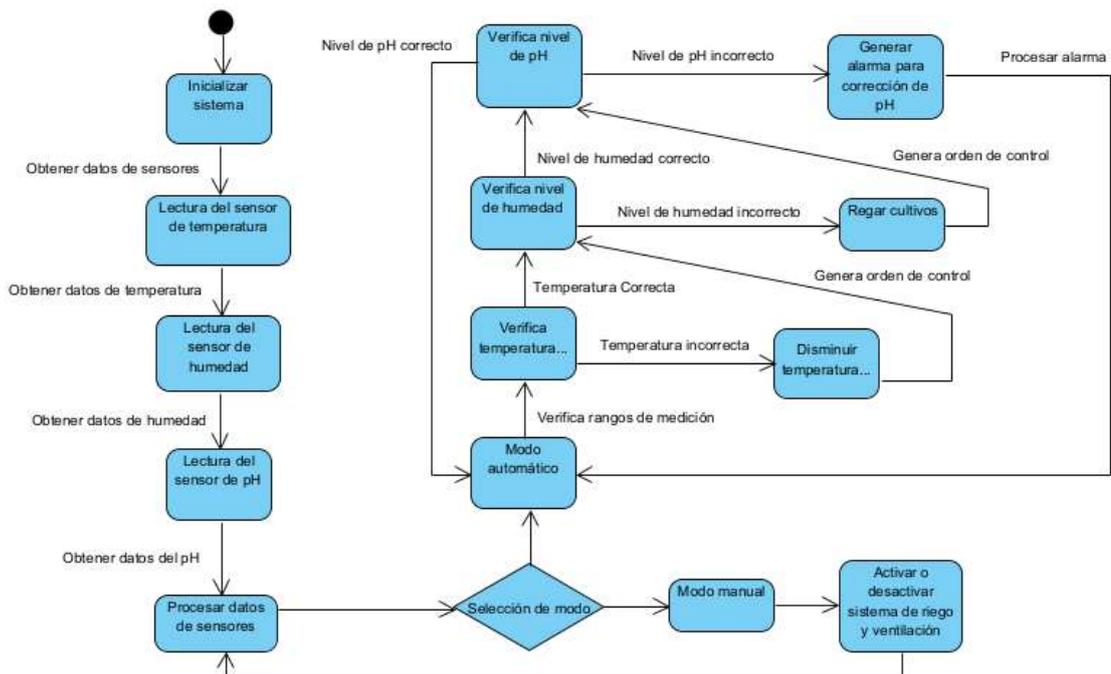


Figura 29: Diagrama de estados del sistema.

El diagrama de estados este sistema (ver figura 29), muestra el proceso de forma ordenada. El cual comienza con el inicio del sistema cuando es energizado y empieza con la lectura de los sensores y los usuarios puedan visualizar los datos de los sensores en la pantalla HMI. Luego los usuarios pueden escoger una acción si requieren accionar manualmente los actuadores de riego y ventilación o ingresar un rango de medición para accionar el modo automático del accionamiento de los actuadores. Si accionan este modo el sistema verificara la temperatura ambiente y si no cumple con el rango accionara la ventilación para disminuir la temperatura ambiental. De igual forma verificará el nivel de humedad y si no concuerda con el rango establecido accionará el sistema de riego. Lo mismo con el nivel

de pH medido será verificado y si no se encuentra entre el rango adecuado generará una alarma por medio del HMI para se requiera una corrección.

3.4 Modelado en redes de Petri

Las Redes de Petri son una gran herramienta para modelar el sistema gráficamente y detallar de mejor forma las funciones y eventos que conforman el sistema propuesto para que a su respectiva implementación se garantice una correcta funcionalidad del mismo. En este trabajo de investigación se propone un sistema de supervisión a través de una HMI para un huerto urbano, por lo que resulta factible el modelado de este sistema por medio de redes de Petri, para desarrollar la estructura de la red de Petri del sistema se parte del diagrama de estados del sistema para poder identificar las marcas, transiciones, arcos, lugares entre otros elementos que sirven para desarrollar la red de Petri del sistema propuesto.

En la figura 30, se muestra el modelado de la RdP, el cual se lo ha desarrollado en el programa Visual Object Net. Esta consta de trece lugares representados por un círculo de tamaño normal del programa y de cuatro acciones externas simbolizadas por un círculo de menor tamaño que los demás. Estos lugares representan los estados definidos anteriormente y son por los que va a pasar el sistema al ejecutar acciones a lo largo de su funcionamiento. Los lugares están conectados por medio de las transiciones que acciones que se sirven para pasar de un lugar a otro y permiten el paso de los “tokens” a través de toda la red.

La Red de Petri del sistema comienza con el primer lugar denominado “Inicia sistema” y se ve señalado el “token” en el inicio de la red. Luego sigue con los siguientes lugares donde se detalla la lectura de los sensores de temperatura, humedad, y pH y la obtención de los datos de los mismos, estos pasan al lugar de “procesar datos de sensores”, conociendo dichos datos los usuarios pueden seleccionar el modo de trabajo que desee que desempeñe el sistema. si se selecciona el lugar “modo manual” como acción externa el “token” ira por el lugar “Activar o desactivar sistema de riego y ventilación” el cual representa que los usuarios pueden realizar estas acciones manualmente.

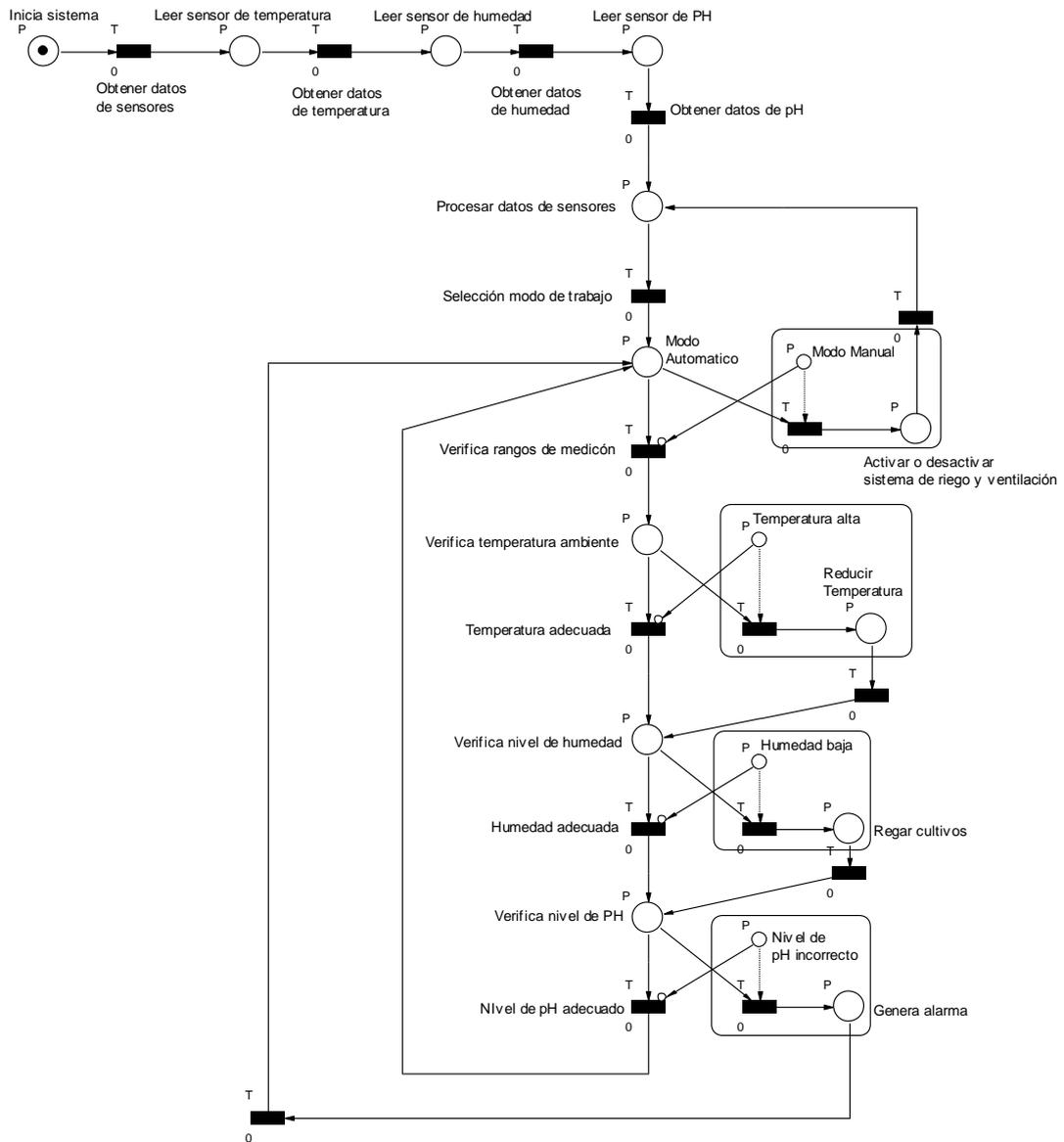


Figura 30: Red de Petri del sistema.

Siguiendo con el desarrollo de la red, en caso de que no se seleccionen la acción externa se seguirá con el lugar de “modo automático” y pasara a los lugares de verificar la temperatura, humedad, pH en los cuales se presentan acciones externas, para el caso de la verificación de temperatura si da el caso de “temperatura alta” el “token” ira por el lugar de “Reducir temperatura” caso contrario no se desviara el transcurso del “token”. En el caso la verificación nivel de humedad si se da el caso de “Humedad baja” el “token” ira por el lugar de “Regar cultivos” y por último en el lugar de “verifica nivel de pH” si se da el caso de “Nivel de pH incorrecto” el “token” se desviará por “generar alarma” si

no seguirá su curso normal. El flujo se repite en modo automático hasta que se realice otra acción.

3.4.1 Matrices de la Red de Petri del sistema

La red de Petri está compuesta por lugares, arcos y transiciones de los cuales se puede sacar matrices para obtener valores que sirven para corroborar el funcionamiento correcto de un sistema a través de una RdP. Por medio de estas matrices y sus valores podemos determinar las propiedades fundamentales que debe cumplir una RdP para que sea segura y no posea puntos muertos. Para obtener las matrices de la RdP del sistema se hará el uso del software PIPE el cual facilita obtener las matrices y sus resultados de forma correcta.

3.4.1.1 Matriz de inhibición

En la figura 31, se observa la matriz de inhibición H de la RdP propuesta, en la cual se puede determinar que cumple como una red de un sistema binario. Esta garantiza que en ningún momento de la simulación del proceso se va a tener más de una marca en un lugar, es decir, en la matriz se interpreta como un “uno” si el lugar está ocupado y un “cero” si está vacío el lugar, por lo cual no existirá más de una marca de un lugar que este ocupado dentro de ningún lugar del proceso de la red. Esto comprueba que es una red segura al no presentar un número diferente en cualquier lugar de toda la red y en caso de presentar lo contrario incumpliría con la propiedad de limitación.

Inhibition matrix H

	T0	T1	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
P0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P1	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
P11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P12	0	0	0	1	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
P14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P15	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P4	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
P6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
P7	0	0	0	0	0	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
P9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Figura 31: Matriz de inhibición H

3.4.1.2 Matriz de marcado

La matriz de marcado (ver figura 32) al realizar la simulación de la red se puede observar el marcado inicial y actual. En la cual se verifica que al momento de simular el proceso se denotan en las marcas que hay “tokens” en varios lugares. Por ejemplo, en P0 considerado como el inicio del sistema y las demás marcas como P5, P6, P9, P12, P15 que contienen un “token” representando un “1” lógico de los procesos externos que integran el sistema.

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

Figura 32: Matriz de marcado

3.4.1.3 Transiciones habilitadas

En este apartado se presentan las transiciones habilitadas como se puede observar en la figura 33, se tiene una sola transición habilitada que es “T0” dado que es la transición que precede del lugar “P0” y representa el inicio del sistema el cual contiene una marca inicial.

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

Figura 33: transiciones habilitadas de la Red de Petri

3.4.1.4 Análisis del espacio de estados

Por medio de este análisis podemos determinar si la red propuesta cumple con las propiedades de limitación, seguridad y si no posee puntos muertos o bloqueo. En la Figura 34 se puede observar los resultados del análisis desarrollado en PIPE, el cual nos muestra como primer punto que la propiedad de limitabilidad es verdadera, por lo que demuestra que la ser un sistema binario no habrá más de un “token” en los diversos lugares a lo largo de la red considerando las marcas iniciales que fueron colocadas representando como acciones externas. Por segundo punto se tiene el

parámetro de seguridad que arroja el resultado de verdadero por lo que se cumple la propiedad de alcanzabilidad la cual determina que se asegura que en un momento determinado de la simulación de la red todos los lugares serán alcanzados por una marca sin dejar ninguno de lado. Como punto final se tiene el parámetro de punto muerto y arroja un resultado de falso por lo cual la red cumple con la propiedad de vivacidad, ya que no presenta puntos muertos dentro de la red, es decir no se ocasionarán lazos infinitos que produciría que el sistema quede inhibido y no funcione correctamente. Una vez concluido con el análisis ya detallado se puede determinar que la red cumple con los requerimientos deseados del sistema propuesto y permite un funcionamiento correcto y fiable para llevar a cabo la implantación del sistema.

Petri net state space analysis results

Bounded	true
Safe	true
Deadlock	false

Figura 34: Resultado del análisis del espacio de estados

3.5 Implementación del sistema

Luego del haber definido y verificado el modelado del sistema propuesto, se puede proceder con la implementación para comprobar los apartados desarrollados anteriormente que se cumplen de forma correcta y funcional. Se establecieron todos los detalles y parámetros del sistema realizando las arquitecturas previo al desarrollo de los diagramas para el modelado UML, considerando el enfoque respecto a los actores que van a interactuar con el sistema. La red de Petri del sistema general tras su modelado permite garantizar la funcionalidad del sistema reflejando lo que se realiza en cada estado de todas las funciones del sistema. La implementación del sistema parte su análisis con las subdivisiones del sistema para detallar los procesos de control que realiza cada función del sistema de supervisión a través de la pantalla HMI.

3.5.1 Subdivisión del sistema

Para analizar el funcionamiento del sistema y lograr una explicación con mayor detalle de la implementación, se realiza la subdivisión del sistema, con el fin de subdividir cada proceso o función que desempeña el sistema para abordarlo con más detalle su explicación y análisis. Por ello se ha considerado la siguiente subdivisión:

- Control de temperatura
- Control de humedad
- Control de pH
- Generación alarmas
- Visualización en HMI

3.5.2 Control de temperatura

La subdivisión de control de temperatura dentro del sistema permite controlar la temperatura ambiente verificando si el rango de parámetros de temperatura está dentro del rango establecido considerando que los usuarios podrán ingresar un rango de temperatura que deseen que se mantenga en ese rango dependiendo del tipo de cultivo. El caso de estar en el rango ingresado el sistema ejecutara una acción de control para corregir la diferencia entre la variable medida y los valores ingresados. La temperatura ambiente adecuada en un huerto de diversos tipos de cultivos permite un desarrollo óptimo del cultivo y obtener un producto de calidad.

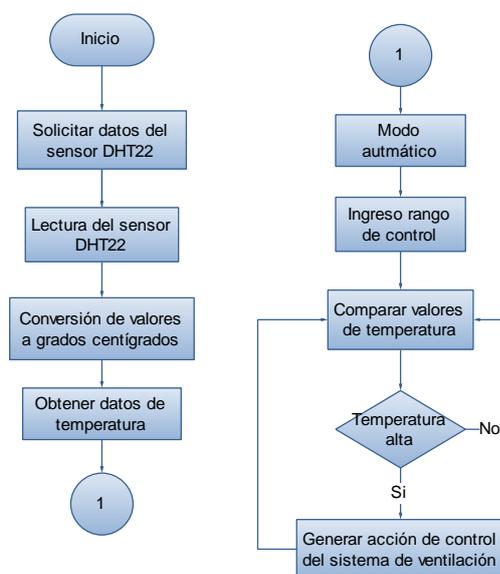


Figura 35: Diagrama de flujo del control de temperatura

En la Figura 35, se observa el diagrama de flujo del control de temperatura y su respectiva secuencia del proceso de control. Esta inicia con la solicitud de datos del sensor DHT22, luego realiza la lectura de variables de temperatura el sensor y después estas variables son convertidas a valores de temperatura en grados centígrados. Siguiendo con la secuencia se obtienen estos valores de temperatura y continua con la activación por parte de los usuarios del modo automático ingresando el rango de temperatura que requiera para su tipo de cultivo. Este rango y valores son comparados para que si se detecta que la temperatura esta fuera del rango de los valores establecidos se genere una acción de control del sistema de ventilación y se ejecutara esta acción hasta que los usuarios deseen el tipo de modo manual y realizar de acuerdo a su conveniencia.

En la figura 36, se muestra la foto de la implementación del control de temperatura, donde el Arduino MEGA es el elemento central, el cual adquiere los datos del sensor DHT22 y muestra los datos de la temperatura en la pantalla Nextion NX8048P070 para que el usuario pueda establecer un modo de trabajo. La alimentación del circuito para los sensores y la pantalla de 5V y el Arduino con 9V.



Figura 36: Implementación control de temperatura

3.5.3 Control de humedad

El control de la humedad es un punto fundamental por parte del sistema, dado que por medio de esta subdivisión se garantiza el riego adecuado al suelo de cultivo para obtener un crecimiento óptimo de las plantas

del cultivo. Este permite controlar el nivel de humedad presente en el suelo verificando si el nivel del porcentaje medido por el sensor FC-28 el cual mide la humedad relativa a través de dos electrodos resistivos, está en dentro del rango ingresado por el usuario y caso de no estarlo y presentar un nivel bajo de humedad ejecute una acción de control del sistema de riego para mantener el nivel de humedad adecuado de humedad con respecto a los valores ingresados.

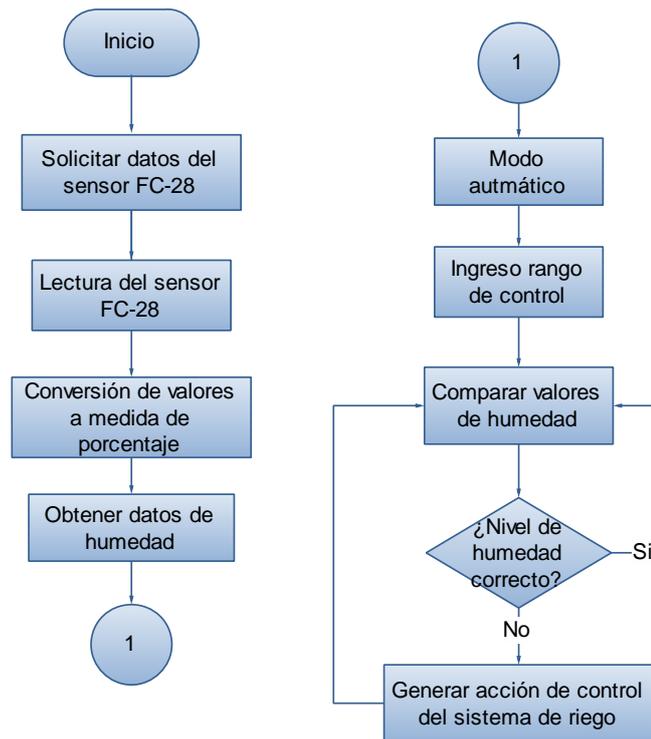


Figura 37: Diagrama de flujo del control de humedad

Como se puede observar en el diagrama de flujo del control de humedad (Ver Figura 36), el proceso de control de humedad comienza con la solicitud de datos al sensor FC-28, luego se produce la lectura del sensor y una vez leídos estos datos se realiza la conversión de los mismo a una medida de porcentaje para se obtenga los valores del nivel de humedad relativa del suelo de cultivo. Los usuarios pueden establecer el modo automático ingresando un rango de valores que deseen que el sistema mantenga en un nivel de humedad requerido, por ejemplo, en el caso de detectar un nivel de humedad bajo del valor establecido accionar el sistema de riego hasta llegar al nivel de humedad correcto para el tipo de cultivo. Cabe recalcar que el sistema también posee un modo de trabajo manual en el cual los usuarios pueden activar y desactivar el sistema de riego si lo requieran.



Figura 38: Implementación control de humedad

En la Figura 38, se aprecia la foto de circuito implementado de la etapa de control de humedad. El Arduino MEGA es el controlador central y realiza la adquisición de los datos de humedad a través del sensor FC-28 y se visualizan los datos en la pantalla Nextion NX8048P070 y la posibilidad de establecer un modo de trabajo del sistema de riego. La alimentación del circuito para los sensores y la pantalla de 5V y el Arduino con 9V.

3.5.4 Control de pH

La subdivisión del control de pH permite establecer un control de los valores de pH del suelo de cultivo, para estos se utiliza el sensor PH-014 para poder adquirir los datos del nivel de pH y controlar dicha variable. Para lograr un control pH los usuarios pueden ingresar un rango de nivel de pH en el cual si este no sea el adecuado se generará una alarma en la pantalla HMI, de modo que los usuarios conociendo este problema puedan agregar aditivos de nutrientes para corregir el valor de pH del suelo de cultivo. El mantener un valor correcto de pH en el suelo permite un desarrollo y crecimiento adecuado para un cultivo.

El control de pH sigue la secuencia del diagrama de flujo (Ver Figura 39) de forma similar a los procesos anteriormente mencionados con el comienzo de solicitar los datos al sensor PH-014 y el cual se realiza la lectura de los valores de pH. Estos valores se deben convertir en una medida de escala de pH de esta forma obtener valores reales del pH. Luego, los usuarios

tienen a su disposición de ingresar un rango para que el sistema genere una alarma a través de la pantalla HMI si el nivel de pH no es el correcto.

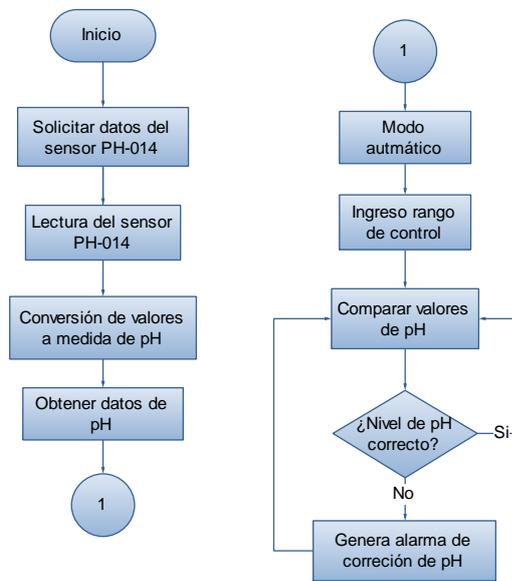


Figura 39: Diagrama de flujo del control de pH

En la figura 40, se observa la foto de la implementación del circuito de control de pH, compuesto por el Arduino MEGA que realiza la adquisición de datos del sensor PH-014 y envía los datos a la pantalla Nextion NX8048P070. Esta generaría una alarma en caso de que el parámetro de pH programado no se encuentre en el nivel correcto.



Figura 40: Implementación del control de pH

3.5.5 Generación de alarmas

El apartado de generación de alarmas es un factor importante del sistema ya que permite al usuario poder estar informado de eventos importantes que ocurren en a lo largo del proceso y poder tomar una acción respectiva. En el sistema propuesto las alarmas principalmente están dedicadas a generarse en el caso del control del nivel de pH en el cual si no está dentro del rango establecido se generará una alarma y con la capacidad de la pantalla HMI a generar alertas de sonido en casos de valores excedidos de las variables a medir.

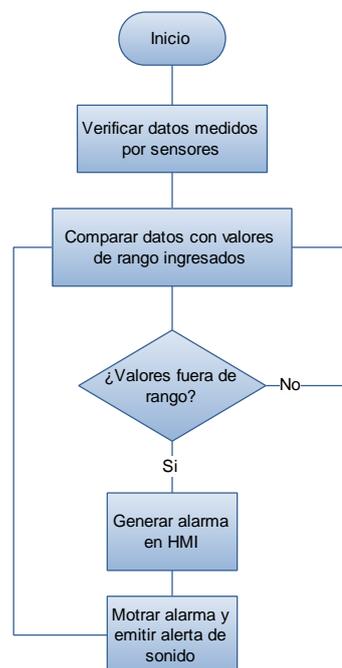


Figura 41: Diagrama de flujo de la generación de alarmas

El funcionamiento de la generación de alarmas se fundamenta en el diagrama de flujo (Ver figura 38). En este se sigue la secuencia del proceso que comienza con la verificación de los datos medidos por los sensores para con estos valores compararlos con los valores que los usuarios ingresen y en caso de presentar valores fuera de rango se generara una alarma a través de la pantalla HMI y una emisión de alerta de sonido. Los usuarios pueden atender las alarmas en la página de alarmas programada en la pantalla HMI.

En la Figura 42 se muestra la interfaz de la generación de alarmas en donde se observa que se alerta con una notificación si el nivel de pH no es el correcto aparte la HMI es capaz de emitir sonidos de alertas.



Figura 42: Visualización en HMI la página de alarmas

3.5.6 Visualización en HMI

La visualización en HMI es uno de los apartados más importantes, dado que, por medio de la pantalla HMI los usuarios podrán visualizar los datos y controlar los procesos del sistema. Este permite brindar información de cada una de las variables medidas como son de temperatura ambiente, Humedad del suelo, y nivel del pH. Estos datos son mostrados en tiempo real y son proyectados en la pantalla de forma continua. En la HMI también se puede observar los distintos botones para desplazarse por todo el menú del sistema y los botones dedicados para realizar las diversas acciones del sistema. También se puede atender las alarmas que se generen en el sistema.

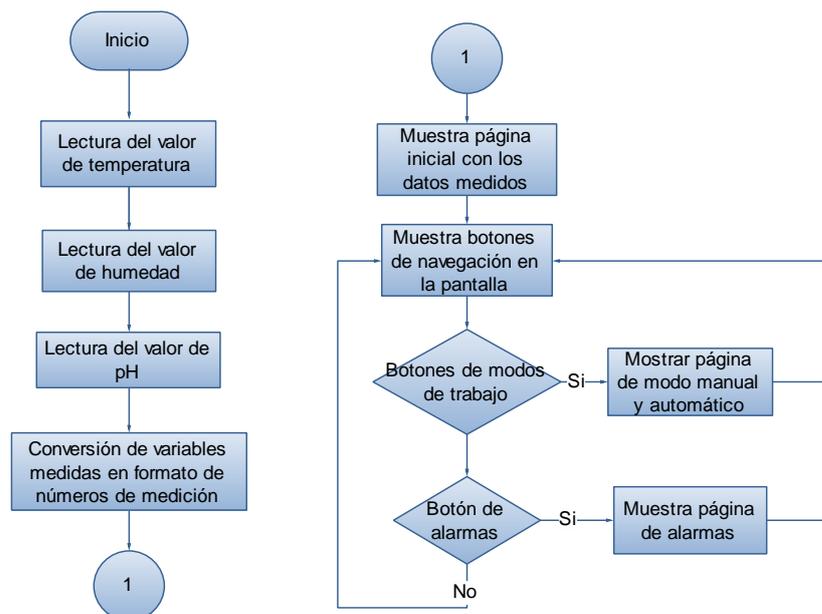


Figura 43: Diagrama de flujo de la visualización en HMI

En la Figura 39 se muestra el diagrama de flujo de la visualización en el HMI, en el cual se muestra el proceso de mostrar los datos de las variables medidas a visualizar y las diversas acciones del HMI.

En la figura 41 se muestra visualización en la pantalla Nextion NX8048P070, en la cual permite observar en la página de inicio de la HMI las mediciones de los sensores y poder acceder a los modos de trabajo del sistema de riego y ventilación. Aparte un botón dedicado a la página de alarmas. En la figura 42 se muestra la interfaz del modo manual en la cual se puede activar o desactivar el sistema de riego y ventilación. También se muestra en la Figura 43 la interfaz del modo automático donde se puede establecer un rango para un control automático del sistema de riego y ventilación.



Figura 44: visualización en HMI de página de inicio

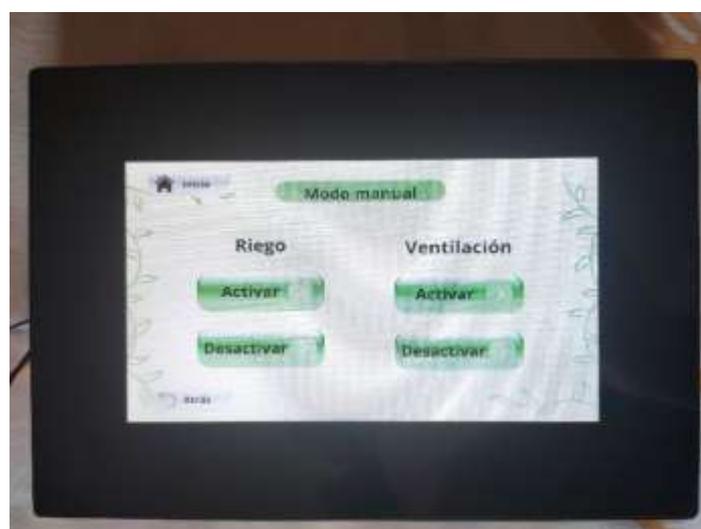


Figura 45: visualización en HMI el modo manual

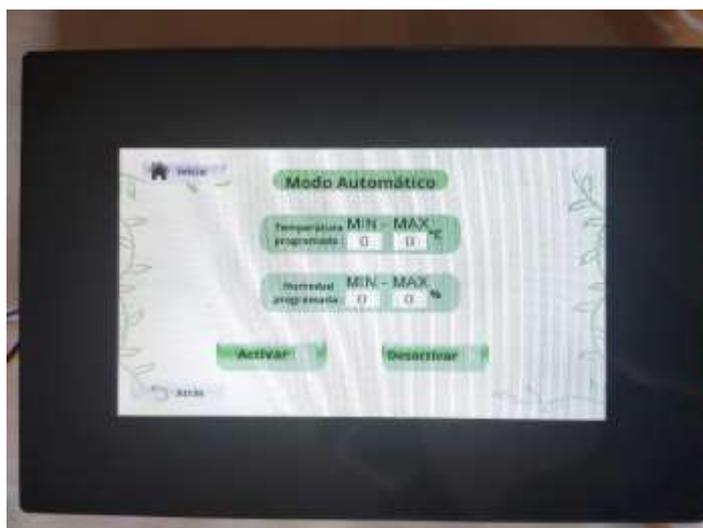


Figura 46: Visualización en HMI el modo automático

3.6 Pruebas experimentales

En este apartado se describe las pruebas experimentales que permitirán comprobar el funcionamiento del sistema y la respuesta que tiene el mismo. Por lo que se propone hacer pruebas en el control de temperatura, control de humedad, control de pH y del sistema de riego. Estas pruebas nos determinaran si los resultados obtenidos son satisfactorios con el diseño del sistema planteado a lo largo de todo el capítulo.

3.6.1 Control de temperatura

Para el control de temperatura se realiza las pruebas para obtener el tiempo de actualización de la temperatura y el error por parte del sensor con el objetivo de determinar la precisión del sensor de temperatura DHT22. Para el desarrollo de esta prueba se utiliza el sensor DHT22 y el Arduino MEGA para obtener los valores de temperatura por medio del monitor serial de la plataforma de Arduino y con esta información determinar el tiempo que la temperatura le toma para actualizarse. Para la otra prueba se utiliza un termómetro digital de referencia para comparar con los valores arrojados por el sensor DHT22 y conocer el error que existe por parte del sensor.

Experimento de cambio de temperatura: Tiempo que demora la variable de temperatura en actualizarse.

Tabla 1: Tiempo de actualización del cambio de temperatura

Temperatura inicial °C	Temperatura final °C	Tiempo de actualización
23	24	2s
24	25	3s
26	27	2s
28	29	2s
29	30	3s

los resultados de los tiempos que demora la temperatura en actualizarse se muestran en la Tabla 1, en la que podemos observar que los tiempos rondan entre los 2 a los 3 segundos, considerando el sensor DHT22 tiene un tiempo de respuesta de 2 segundos para mostrar nuevas lecturas de temperatura. Se puede considera un resultado satisfactorio dado que no es un tiempo demasiado excedido.

Experimento de error en lectura de temperatura: El error que tiene la lectura del sensor con referencia a una temperatura patrón.

Tabla 2: Resultados prueba de error del sensor de temperatura

Temperatura sistema	Temperatura patrón	Error
23.10	22	5%
25	24	4.16%
27.30	26	5%
30	29	3.45%
31.10	30	3.67%

En la tabla 2, se muestra los resultados de la prueba de error del sensor de temperatura, la cual nos muestra que el valor más alto es el de 5% y el valor más bajo obtenido es del 3.45%. Se compara los valores con una medida

de temperatura patrón, considerando que los datos técnicos del sensor muestran que el sensor tiene una precisión de temperatura de ± 0.5 °C.

3.6.2 Control de Humedad

En esta prueba se pretende determinar el porcentaje de error de valores medidos por parte del sensor de humedad del suelo FC-28. El objetivo de esta prueba es determinar la precisión de las medidas del porcentaje de humedad. Para el desarrollo de esta prueba se obtiene los datos de temperatura con el uso del sensor FC-28 y el monitor serial de la plataforma de Arduino y estos valores compararlos con una medida de humedad como referencia tomados de un medidor de nivel de humedad.

Experimento de error en lectura de humedad: el error que tiene el sensor de humedad con respecto a una humedad patrón.

Tabla 3: resultado de error en sensor de humedad

Humedad sistema	Humedad patrón	Error
10%	10%	0%
29%	30%	3,33%
50%	50%	0%
74%	75%	1.33%
98%	95%	3.16%

Los resultados de la prueba de error del sensor de temperatura se muestran en la tabla 3. Esta muestra los porcentajes de error de los valores medidos con el sensor de humedad FC-28 y arroja un porcentaje de error aproximado menor del 5% el cual fue comparado con una medida de referencia patrón.

3.6.3 Control de pH

Al igual que las pruebas anteriores con esta prueba se pretende determinar el porcentaje de error con valores medidos con el sensor de pH. El objetivo de esta prueba pretende obtener la precisión de las medidas del sensor de pH. Para el desarrollo de esta prueba se comprar los valores

medidos con una medida de referencia con otro medidor de pH para determinar un porcentaje de error en la medición.

Tabla 4: Resultados de tabla de error del sensor de pH

Medida de pH sistema	Medida de pH patrón	Error
3.5	3.4	2.94%
5.2	5	4%
6.14	6.40	4.06%
6.80	7	2.86%
8.90	9	1.11%

En la tabla 4 se muestra los resultados de la prueba de error del sensor de pH, en la cual se puede observar que no da como resultado más bajo el porcentaje de error del 1.11% y como porcentaje de error más alto de 4.06%, lo cual nos indica que existe una mejor precisión de medida en valores de pH de medios a altos.

3.6.4 Sistema de riego

La presente prueba está orientada a determinar el tiempo de activación del sistema de riego considerando los parámetros humedad programados. Para el desarrollo de esta prueba se mide los tiempos en que sistema activa el sistema de riego dependiendo de la humedad programada para activarse. El objetivo de esta prueba es obtener el tiempo de respuesta del sistema para ver si cumple con las expectativas deseadas.

Experimento de tiempo de activación del sistema de riego: Si el sistema se activa al nivel de humedad programado.

Tabla 5: Tiempos de activación del sistema a la humedad programada

Humedad programada	Humedad de activación	Tiempo de activación
60%	60%	3s
50%	50%	2s
40%	40%	2s

30%	30%	2s
20%	20%	3s

Los resultados de la prueba del sistema de riego se muestran en la Tabla 5, en la cual se puede observar un resultado satisfactorio ya que los tiempos de activación del sistema de riego son adecuados al valor de humedad ingresado, lo que nos resulta satisfactorio al diseño del sistema y los parámetros establecidos.

CAPITULO 4: PRESENTACION DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente capítulo se muestra los resultados obtenidos en este trabajo de investigación, con la finalidad de demostrar los objetivos planteados al inicio de la investigación y comprobar los resultados de las arquitecturas, modelado, implementación y pruebas del mismo.

4.1 Presentación de resultados

En los siguientes apartados se presentan los resultados de los puntos desarrollados en los capítulos anteriores, tanto desde la elaboración de los estados del arte, diseño de las arquitecturas, modelado UML, red de Petri, implementación y las pruebas experimentales que sirvieron para el desarrollo de este trabajo de investigación.

4.1.1. Resultados de estado del arte

El estado del arte fue de gran aporte mediante la inclusión de artículos de investigación para adquirir nuevas ideas y tener otros puntos de vista en torno a nuestro campo de investigación. Hay que resaltar que no se encuentra mucha literatura relacionada al diseño de sistema de supervisión para huertos urbanos, por lo que el desarrollo de este trabajo permite ampliar el campo de investigación del mismo.

Entre los artículos mencionados en el estado del arte, se puede destacar las investigaciones tales como la de (Pastuña et al., 2021) que fue de gran aporte para el trabajo de investigación propuesto ya que en este se propone un sistema de control de consumo de agua, energía y humedad en un invernadero haciendo uso de un PLC, sensores y actuadores y una interfaz gráfica HMI con el fin de monitorear el comportamiento de la humedad y controlar los momentos de riego de los cultivos. Otro artículo relevante es el de (Orduña & Sierra-Carmona, 2020) en el cual se propone el diseño de un sistema de control automático junto con un HMI con el fin de satisfacer las necesidades de un cultivo inteligente con el control de las variables de pH, temperatura, nivel, presión y flujo del agua; de tal manera que la incorporación de un sistema automatizado de cultivo que permita monitorear y controlar las variables ambientales del proceso productivo amplía el panorama hacia la

implementación de buenas prácticas de agricultura y sustentabilidad en torno a la inocuidad de alimentos y el impacto ambiental.

4.1.2. Resultados de las arquitecturas

En el sistema propuesto se diseñó las siguientes arquitecturas de: automatización, comunicaciones y hardware; las cuales son la estructura fundamental para el diseño del sistema ya que gracias a esta podemos jerarquizar los diversos dispositivos del sistema, definir el tipo de comunicación y las características específicas de cada uno de estos. A continuación, se detallan las arquitecturas desarrolladas para el sistema:

- **Arquitectura de automatización:** Esta arquitectura está basada en la pirámide de automatización. Se ha propuesto una arquitectura centralizada de tipo jerárquica, la cual dispone de tres niveles que son suficientes para distribuir todas las tareas encomendadas al sistema, en este caso tres niveles que son el nivel de supervisión, de control y de campo. Para cada nivel se detalla los dispositivos utilizados en el nivel de supervisión se encuentra la pantalla HMI, en el nivel de control se encuentra el controlador el Arduino MEGA; por ser un solo controlador la arquitectura es centralizada y en el nivel de campo se encuentran los sensores y actuadores utilizados para el sistema.
- **Arquitectura de comunicaciones:** La arquitectura de comunicaciones muestra el tipo de interfaz de comunicación por parte de todos los dispositivos del sistema. se diseñó esta arquitectura por medio de la distribución de los distintos dispositivos utilizados con sus diferentes protocolos de comunicación entre los cuales están: Serial TTL, digital, analógico; siendo este un esquema importante para el momento de la implementación.
- **Arquitectura hardware:** esta arquitectura se basa en el microcontrolador Arduino MEGA; el cual es la unidad de procesamiento del sistema, partiendo de esto se especifica los dispositivos como la pantalla HMI, sensores, actuadores, entre otros; en la que se especifica su distribución dentro del sistema.

4.1.3. Resultados del modelado UML y RdP

Los diagramas UML fueron fundamentales para modelar y comprender el funcionamiento del sistema, en este trabajo se realizaron tres diagramas para obtener un modelado correcto. A continuación, se describen los diagramas UML realizados:

- Diagramas de caso de uso: los diagramas de caso de uso fueron de gran aporte para identificar los actores que van a interactuar con cada parte del sistema y las acciones que pueden realizar en el mismo.
- Diagramas de secuencia: el diagrama de secuencia sirvió para identificar las acciones que se desarrollan a lo largo del funcionamiento del sistema y cómo interactúan con los actores definidos; sobre todo nos permite mostrar un orden sucesivo de los eventos ocurren en el sistema.
- Diagrama de estados: el diagrama de estados sirvió para definir los pasos específicos que se desarrollan a lo largo del funcionamiento el sistema por medio de estados y transiciones de los eventos del sistema.

Posterior al desarrollo de los diagramas UML, se procedió a realizar el modelado del sistema a través de una red de Petri. Esta cumplió con los parámetros propuestos para obtener una red fiable y segura. Se pudo demostrar por medio de las matrices que no existió un número diferente 1 y 0 dado que el sistema es binario, con esto se cumplió con la propiedad de limitación. Por medio del análisis de espacios de estados se demostró que la red es segura y no se producirán lazos finitos en el sistema, ya que, el resultado que arrojó de puntos muertos en el sistema salió falso. Las propiedades de la red garantizan la funcionalidad correcta del proceso a simular. Los resultados analizados corroboraron el cumplimiento de las propiedades a partir de las matrices analizadas.

4.1.4. Resultados de la implementación

En la implementación se muestra las pruebas realizadas al implementar el sistema propuesto demuestran la veracidad del sistema de supervisión de un huerto urbano a través de una HMI, en cuanto a su funcionamiento y

características del diseño. Para lograr la implementación se elaboró diagramas de flujo para poder visualizar y explicar su funcionamiento. Para abordar con más detalle el análisis del sistema, se procede a realizar una subdivisión de los procesos que gobiernan el sistema; tales como el control de temperatura, control de humedad, control de pH, generación de alarmas y la visualización en HMI. De esta forma se definió los procesos fundamentales que ocurrirán a lo largo del ciclo de trabajo del sistema.

4.1.5. Resultados de pruebas experimentales

En este apartado se muestra los resultados de las pruebas realizadas en las que se logró demostrar los tiempos de respuesta de los sensores y el porcentaje de error de los mismos. En el control de temperatura se obtuvo un tiempo de actualización del cambio de temperatura por parte del sensor de un rango de entre 2s a 3s. Otra de las pruebas realizadas al sensor de temperatura es el porcentaje de error con respecto a otra medida dando como resultado un porcentaje de entre el 3.45% al 5%. En el control de humedad se realizó la misma prueba de obtener el porcentaje de error del sensor dando un porcentaje de error aproximado menor al 5%. Al igual que los otros puntos para el sensor de pH se realizó la prueba de error del sensor y se obtuvo un porcentaje de error aproximado menor al 5%. Por otra parte, la última prueba se midió el tiempo de respuesta del accionamiento del sistema de riego con respecto a la humedad programada dando como resultado unos tiempos de entre 2s a 3s.

4.2 Discusión de resultados

En esta sección se realiza la discusión de los resultados obtenidos para determinar el cumplimiento de los objetivos de investigación y los requisitos funcionales planteados al inicio de la investigación. Por otra parte, se analiza la solución al problema de investigación y la arquitectura propuesta para desarrollo de este sistema.

4.2.1 Discusión del cumplimiento de los requisitos funciones

En el desarrollo del sistema lo más importante es especificar las funciones que va a desempeñar, desde las funciones principales hasta las secundarias del mismo. En este apartado se detallan los puntos alcanzados

para cumplir con todas las funciones del sistema descritas en los capítulos anteriores, con la ayuda del diseño de las arquitecturas, el modelado UML, la red de Petri y la implementación, se puede corroborar los siguientes puntos:

- La supervisión de un huerto a través de la pantalla HMI, la cual obtiene los datos de las variables medidas y el usuario es capaz de establecer una acción de mando o modificar parámetros de control.
- La monitorización de las variables de temperatura, humedad y pH constantemente a través de la pantalla HMI en tiempo real.
- El control de la temperatura, mediante el uso del sensor DHT22 y el microcontrolador permite establecer un control manual y automático del sistema de ventilación.
- El control de humedad del suelo, permite establecer un control manual y automático del sistema de riego con la ayuda del sensor de humedad FC-28.
- El control de pH, permite analizar el valor de esta variable al ingresar un rango de parámetro para que el sistema detecte cuando este fuera del parámetro designado, se genere una alarma de corrección para los usuarios.
- La generación de alarmas que permite el sistema para que cuando un valor medido este fuera del rango designado se genere una alarma.
- Finalmente se corrobora el funcionamiento del sistema por medio de los diagramas UML, la simulación de la red de Petri y la implementación del sistema para determinar que cumple con los requisitos funcionales.

4.2.2 Cumplimiento de objetivos

Una vez terminado con los diagramas, modelado e implementación para el diseño del sistema propuesto, se puede determinar que se cumplió con los objetivos planteados al comienzo del trabajo de investigación.

Luego de lo descrito, se puede decir que se cumplió con el objetivo general propuesto, dado que con el diseño de la arquitectura de automatización del sistema y la implementación del sistema basado en una HMI fueron de gran ayuda para comprobar que la propuesta de la

investigación funciona de forma correcta. Se puede afirmar que un sistema de supervisión basado en una HMI utilizando técnica de automatización puede optimizar el mantenimiento y cuidado de un huerto urbano y disminuir el consumo excesivo de recursos como pueden ser energéticos o hídricos.

Una vez analizado el cumplimiento del objetivo general se procede a analizar los objetivos específicos propuestos como se describen a continuación:

- El modelado se diseñó para un sistema de supervisión capaz de supervisar las variables ambientales presentes en un huerto urbano y reducir el uso excesivo del recurso hídrico cumpliendo con el requisito funcional.
- Se implementó un sistema de supervisión basado en una pantalla HMI con el uso de dispositivos electrónicos como el microcontrolador y los sensores para obtener los datos de las variables requeridas para el mantenimiento de un huerto y el control de los actuadores.
- La simulación a través de redes de Petri permitió evaluar el comportamiento y desempeño del sistema dando como resultado un sistema de supervisión muy eficiente y funcional al momento de ejecutar todas sus funciones requeridas.

4.2.3 Solución al problema de investigación

En el capítulo 1 se inició el desarrollo de este trabajo de investigación con la problemática y la pregunta de investigación la cual es la siguiente:

¿Cómo se puede mejorar el proceso de cuidado de un huerto urbano utilizando tecnologías electrónicas micro programable?

En este trabajo de investigación se demostró cómo se puede mejorar el proceso de cuidado de un huerto urbano ya que con el uso de dispositivos electrónicos, la persona que siente la necesidad de cambiar la forma del mantenimiento de un huerto urbano ya sea por falta de tiempo o para reducir el consumo de recursos, con tecnologías electrónicas micro programables se puede diseñar una solución como la implementación de una interfaz donde la persona encargada de un huerto pueda supervisar y monitorear la variables ambientales que afectan a los cultivo y establecer un control del uso del

recurso hídrico. De esta manera queda demostrado que se puede mejorar el cuidado de un huerto urbano con este tipo de tecnologías.

4.2.4 Aporte del sistema propuesto

El desarrollo de un sistema de supervisión de un huerto urbano a través de una HMI es un gran aporte significativo para el área de la electrónica y automatización, también para la sociedad sobre todo para las personas que están involucradas en el ámbito de la agricultura. Está comprobado que las inclusiones de tecnologías electrónicas mejoran la eficiencia de cualquier tipo de proceso productivo.

Dado al incremento de la población urbana y las necesidades de obtener alimento de buena calidad, libres de contaminantes y a costos no tan elevados, nace la importancia de desarrollar este tipo de trabajo de investigación, ya que ofrece una manera de reducir los tiempos de mantenimiento y cuidado de un huerto urbano con el uso de dispositivos de bajo costo y de gran eficiencia.

Capítulo 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo, luego de haber realizado el análisis de los resultados y discusión de todos los objetivos propuestos se presentan las conclusiones y recomendaciones del presente trabajo de investigación, aparte se realizan consideraciones para un futuro trabajo en relación a este tema de investigación.

5.1 Conclusiones

- El proceso cuidado y mantenimiento de un huerto urbano puede ser mejorado con la inclusión de sistemas de supervisión automatizados con el uso de dispositivos electrónicos micro programables.
- El uso del lenguaje de modelado UML es una herramienta de gran aporte para modelar el sistema por medio de diagramas que permitieron describir las distintas funciones e interacciones del sistema propuesto.
- Los diseños de las arquitecturas facilitan la implementación del sistema para establecer una estructura de la distribución de los dispositivos utilizados dependiendo su función en sistema y el tipo de protocolos comunicación entre estos.
- La descripción y simulación del sistema a través de redes de Petri permitió comprobar el correcto funcionamiento del sistema; dando como resultado el cumplimiento de las propiedades, que predijeron un funcionamiento seguro y funcional.
- El uso de un sistema basado en un HMI se justifica con los requerimientos de la supervisión y monitorización de las variables a medir y el control de dispositivos que intervienen en el proceso de mantenimiento de un huerto urbano.
- Se demostró a través de las pruebas experimentales que el diseño del sistema de supervisión de un huerto urbano a través de una HMI es un sistema eficiente y funcional de acuerdo a los requerimientos planteados para el sistema propuesto.

5.2 Recomendaciones

- El modelado UML por medio del desarrollo de sus diagramas en especial los diagramas de casos de uso, secuencias y estados, donde se definen los actores y las funciones que van a interactuar con el sistema. Estos son de mucha ayuda para describir sistemas donde se tiene muchas funciones e interacciones dentro de un sistema.
- Para desarrollar el diseño de redes de Petri el uso del software Visual Object Net y PIPE son muy útiles ya que facilitan la elaboración y simulación de cualquier tipo de RdP de una forma sencilla e intuitiva. Para obtener los resultados de las ecuaciones y determinar si una red cumple con las propiedades de las RdP.
- El uso de dispositivos de código abierto facilita mucho al momento de desarrollar este tipo de proyectos por la facilidad de obtener librerías requeridas por ciertos dispositivos y su programación.
- La pantalla Nextion NX8048P070 se recomienda su uso para este tipo de proyecto de supervisión, ya que cuenta con una interfaz muy amigable y es de un costo accesible con relación a sus características, funcionalidades y sencilla programación.
- Para cada tipo de cultivo de un huerto se debe conocer los parámetros de medición de las variables a medir para así ingresar rangos adecuados para que este tipo de sistemas funcionen de manera eficiente.
- En la implementación se recomienda revisar las especificaciones técnicas de los dispositivos que integraran el circuito del sistema para tener un correcto funcionamiento de los mismos.

5.3 Trabajo futuro

Luego de haber finalizado con el trabajo de investigación, se puede constatar que el sistema satisface con las necesidades requeridas. Para un trabajo futuro se puede recomendar que si se requiere implementar este tipo de sistemas a una mayor escala se debe hacer el uso de un controlador lógico programable debido a su mayor expansión de módulos de entradas y salidas. Para la energización del sistema se puede incluir el uso de energías

renovables como el uso de paneles fotovoltaicos para reducir el consumo energético. Otra alternativa puede ser la inclusión del internet de las cosas subiendo los datos obtenidos a la nube para que los usuarios estén pendientes del huerto en cualquier momento que lo requiera.

Bibliografía

- AdminTameco. (2018, mayo 31). ¿Qué es una electrobomba? *Bombas Tameco*. <https://tameco.es/que-es-una-electrobomba/>
- Alarcón, V. F. (2010). *Desarrollo de Sistemas de Información una Metodología Basada en el Modelado*. Univ. Politèc. de Catalunya.
- Alfocea Jimenez, M. (2019). *Control y supervisión de un variador de velocidad con un autómatas y un sistema HMI*. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/171066>
- Andagana Paredes, L. A., & Taco Muñoz, A. D. (2021). “Control y monitoreo de la humedad y temperatura mediante un sistema scada para el cultivo de mora en el sector de Yanahurco”. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/7843>
- Carrera, M. (2022, abril 13). *Los huertos comunitarios, espacio para el desarrollo económico de la Comuna de Miraflores*. El Comercio. <https://www.elcomercio.com/actualidad/ecuador/huertos-comunitarios-desarrollo-economico-miraflores.html>
- Castellanos Arias, J. S., & Solaque Guzmán, L. E. (2010). Modelado con redes de petri e implementación con grafcet de un sistema de manufactura flexible con procesos concurrentes y recursos compartidos. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 20(1), 61-75.
- Cayssials, R. (2014). *Sistemas embebidos en FPGA*. Alpha Editorial.
- Centeno, C. A. (2014). *Programando en C - x86 y Sistemas Embebidos. Incluye ejercicios resueltos*. Carlos Augusto Centeno.

- Chamba, A. (2020, noviembre 17). *Los huertos urbanos se toman la capital*.
<https://www.expreso.ec/actualidad/huertos-urbanos-toman-capital-93682.html>
- Chaparro, R., & Vicente, C. (2020). *Diagramas esenciales del lenguaje unificado de modelado para los requisitos ágiles en el desarrollo de software*. <http://repository.unad.edu.co/handle/10596/38052>
- Cohen, G. (2001). *Análisis y control de sistemas de eventos discretos: De redes de Petri temporizadas al álgebra (Vol. 29)*.
<https://www.rocq.inria.fr/metalau/cohen/documents/Cuaderno29.pdf>
- De los Santos, E. (2019, febrero 26). Diferentes tipos de huertos urbanos.
Parques Alegres I.A.P.
<https://parquesalegres.org/biblioteca/blog/diferentes-tipos-huertos-urbanos/>
- El Universo. (2015, marzo 8). *Huertos aportan al ambiente y a la economía de la familia*. El Universo. <https://www.eluniverso.com/vida-estilo/2015/03/08/nota/4630826/huertos-aportan-ambiente-economia-familia>
- García Arboleda, M. (2018). *Estudio Etnobotánico de los huertos urbanos en Guayaquil*. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/29485>
- García Ibañez, J., & Valderrama Contreras, J. (2019). Desarrollo de un sistema de control automático para el trabajo eficiente en la operatividad de las electrobombas sumergibles en las empresas mineras de socavón. *Repositorio Institucional - UCV*.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/45412>

- García Moreno, E. (2001). *Automatización de procesos industriales*. Alfaomega.
- García-Holgado, A., Moreno García, M. N., Vázquez-Ingelmo, A., & García-Peñalvo, F. J. (2019). *UML. Unified Modeling Language*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.2557444>
- Grässel, E., & Manuel, J. (2020). *Los huertos urbanos como proyecto urbanístico* [Proyecto/Trabajo fin de carrera/grado, Universitat Politècnica de València]. <https://riunet.upv.es/handle/10251/141592>
- Hernández, L. (2006). *Revisión bibliográfica La agricultura urbana y caracterización*. 14.
- Hidrovo, S., & María, A. (2012). *Agricultura Urbana comunidad agrícola*. <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/1820>
- Idzni, S. I., & Chia, K. S. (2021). A Supervisory and Control System for Indoor Lettuce Farming. *International Journal of Integrated Engineering*, 13(1), 249-259.
- Kalantar-zadeh, K. (2013). *Sensors: An Introductory Course*. Springer Science & Business Media.
- La Hora. (2022, junio 6). *Huertos familiares y comerciales impulsan el desarrollo en El Pangui – Diario La Hora*. <https://www.lahora.com.ec/zamora/huertos-familiares-comerciales-pangui/>
- Lajara, J. R., & Sebastián, J. P. (2014). *Sistemas integrados con arduino*. Alpha Editorial.
- Llugsha Siza, L. B., & Moreno Moreno, W. J. (2020). *“Diseño de un módulo de cultivos hidropónico FVH para la crianza de animales de corral basado*

en IOT (Internet de las cosas)".

<http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/8372>

Melendez, S. X. T. (2019). Implementación del sistema SCADA, aplicación a invernaderos para optimizar el control y la monitorización del microclima en el cultivo de hortalizas. *Revista Siembra CBA*, 1, 55-63.

Morán Alonso, N., & Hernández Aja, A. (2011). Historia de los huertos urbanos. De los huertos para pobres a los programas de agricultura urbana ecológica. *Actas del I Congreso Estatal de Agricultura Ecológica Urbana y Periurbana. | I Congreso Estatal de Agricultura Ecológica Urbana y Periurbana. | 06/05/2011 - 07/05/2011 | Elche, España. | Congreso Estatal de Agricultura Ecológica Urbana y Periurbana., Elche, España.* <https://oa.upm.es/12201/>

Municipio de Quito. (2021, abril 15). *Usuarios con discapacidad reciben terapia integral con la implementación de huertos orgánicos.* <http://www.quitoinforma.gob.ec/2021/04/15/usuarios-con-discapacidad-reciben-terapia-integral-con-la-implementacion-de-huertos-organicos/>

Muñiz, R. (2019). El aporte de la permacultura en el desarrollo de la agricultura urbana. *Tekhné*, 22(1), Article 1. <https://revistasenlinea.saber.ucab.edu.ve/index.php/tekhne/article/view/4033>

Muñoz Rodríguez, M. A., & Riccio Molinares, G. G. (2005). Modelamiento de sistemas de control y sincronización de procesos basados en redes de petri. <http://biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0033433.pdf>. <https://repositorio.utb.edu.co/handle/20.500.12585/1695>

- Murillo-Soto, L. D. (2008). *Redes de Petri: Modelado e implementación de algoritmos para autómatas programables | Revista Tecnología en Marcha*. https://181.193.125.13/index.php/tec_marcha/article/view/231
- Orduña, M. G. H., & Sierra-Carmona, C. G. (2020). Innovación agrícola sustentable mediante el desarrollo de un sistema de cultivo automatizado con monitoreo HMI de variables a través de la irrigación. *RINDERESU*, 4(1-2), 21-26.
- Osio, J. R., Aróztegui, W. J., & Rapallini, J. A. (2020). *Sistemas digitales basados en microcontroladores*. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP). <https://doi.org/10.35537/10915/95305>
- Pan, S., & Makinwa, K. A. A. (2022). *Resistor-based Temperature Sensors in CMOS Technology*. Springer Nature.
- Pastuña, J. E. Á., Masabanda, B. S. M., Tituaña, A. P. R., Ortega, W. A. T., & Ramírez, S. M. (2021). Control del consumo de agua, energía y humedad en un invernadero. *Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas*, 4(1), 24-36.
- Patil, V. H., Dey, N., Mahalle, P. N., Pathan, M. S., & Kimbahune, V. V. (2021). *Proceeding of First Doctoral Symposium on Natural Computing Research: DSNCR 2020*. Springer Nature.
- Pizarro, M. T. (2015). *UF2239—Diagnosis de averías en electrodomésticos de gama blanca*. Editorial Elearning, S.L.
- Portilla Guzmán, P. J. (2016). *Diseño y construcción de un sistema de automatización para huerto doméstico con tecnología aeropónica*. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/15073>
- Pressman, R. (2010). *Ingeniería del Software*. MCGRAW-HILL.

- Priyadharson, A. S. M., & Joshua, S. V. (2021). Exclusively Automated Agricultural Engineering System using PLC-HMI and ZigBee based WSN. En V. L. N. Komanapalli, N. Sivakumaran, & S. Hampannavar (Eds.), *Advances in Automation, Signal Processing, Instrumentation, and Control* (pp. 3035-3049). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-15-8221-9_284
- Rumbaugh, J. (2007). *El lenguaje unificado de modelado: Guía de usuario : aprenda UML directamente de sus creadores* (J. J. G. Molina & J. S. Martínez, Trads.).
- Rumpe, B. (2016). *Modeling with UML: Language, Concepts, Methods*.
- Thong-un, N., & Wongsaroj, W. (2022). Productivity enhancement using low-cost smart wireless programmable logic controllers: A case study of an oyster mushroom farm. *Computers and Electronics in Agriculture*, 195, 106798. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.106798>
- Tolocka, E. (2021, marzo 29). *La familia de microcontroladores STM32 | profe Tolocka*. <https://www.profetolocka.com.ar/2021/03/29/la-familia-de-microcontroladores-stm32/>
- Torres, M. (2021, noviembre 19). *Colegiales cultivan alimentos en los huertos de sus unidades educativas*. <https://www.expreso.ec/guayaquil/colegiales-cultivan-alimentos-huertos-unidades-educativas-115870.html>
- Valdes, F., & Areny, R. P. (2007). *Microcontroladores Fundamentos y Aplicaciones con PIC*. Marcombo.

Vega-de la Cruz, L. O., Lao León, Y. O., & Pérez Pravia, M. (2016). Redes de Petri en la determinación de puntos críticos para el control interno. *Revista Universidad y Sociedad*, 8(4), 219-226.

Viagua. (2019, junio 15). *Electroválvulas de riego. Todo sobre las válvulas de corte con solenoide*. <https://viagua.es/electrovalvulas-de-riego/>

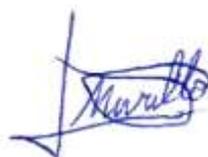
DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Murillo Gómez, Luis Fernando**, con C.C: # 0926743998 autor del trabajo de titulación: **Sistema de supervisión de un huerto urbano a través de una HMI**, previo a la obtención del título de **INGENIERO ELECTRÓNICO EN CONTROL Y AUTOMATISMO** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

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

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

Guayaquil, 19 de septiembre del 2022



f. _____

Nombre: Murillo Gómez, Luis Fernando

C.C: 0926743998

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TEMA Y SUBTEMA:	Sistema de supervisión de un huerto urbano a través de una HMI.		
AUTOR(ES)	Murillo Gómez, Luis Fernando		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	M.sc. Mendoza Merchán, Eduardo Vicente		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	De Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería Electrónica en Control y Automatismo		
TITULO OBTENIDO:	Ingeniero Electrónico en Control y Automatismo		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	19 de septiembre del 2022	No. DE PÁGINAS:	78
ÁREAS TEMÁTICAS:	Automatización, Sistemas de control, Huertos urbanos		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Huertos Urbanos, HMI, Microcontroladores, Arquitecturas de Automatización, Modelado UML, Rede de Petri, Sistemas de Control.		
RESUMEN:	<p>El presente trabajo de investigación está basado en el desarrollo de un sistema de supervisión para un huerto urbano a través de una HMI, este tiene como objetivo proponer un sistema de supervisión basado en una pantalla HMI con el fin de mejorar el proceso de mantenimiento, cuidado y disminuir el uso de recursos para un huerto urbano, para lo cual se usan técnicas de automatización y control de procesos. El sistema está compuesto de dispositivos electrónicos tales como un microcontrolador, sensores y actuadores para lograr adquirir y controlar las variables requeridas para establecer un control sobre el proceso respectivo. Con la ayuda de herramientas de diseño y modelado como los diagramas de lenguaje de modelado unificado (UML), se logró modelar y verificar el funcionamiento del sistema, en consecuencia, se procedió a realizar la simulación del modelado a través de las redes de Petri para comprobar por medio de sus propiedades si se cumple con los requisitos funcionales del sistema. La implementación y las pruebas experimentales sirvieron para comprobar que el sistema es capaz de supervisar y monitorear todos los procesos que conforman el sistema de una manera eficiente. Finalmente, con los resultados y su respectivo análisis, se concluye que el sistema cumple satisfactoriamente con los objetivos planteados de mejorar el cuidado y mantenimiento de un huerto y resulta muy eficiente dando muchas facilidades a los usuarios.</p>		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-9-60282335	E-mail: luis-muri9@hotmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::	Nombre: Vélez Tacuri, Efraín Oliverio		
	Teléfono: +593-9-94084215		
	E-mail: efrain.velez@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):			