



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

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

**TEMA:**

**Sistema de control de riego para finca agrícola y ganadera,  
basado en sistemas micro programables.**

**AUTOR:**

Macías Veliz, Carlos Yoryi

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de

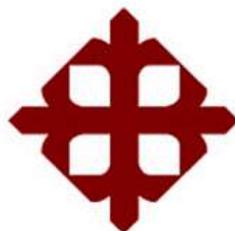
**INGENIERO ELECTRÓNICO EN CONTROL Y AUTOMATISMO**

**TUTOR:**

Ing. Mendoza Merchán Eduardo Vicente, Mgs

Guayaquil, Ecuador

Septiembre – 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 fue realizado en su totalidad por  
el Sr. **Macías Veliz, Carlos Yoryi** como requerimiento para la obtención del  
título de **INGENIERO EN ELECTRÓNICA EN CONTROL Y  
AUTOMATISMO**

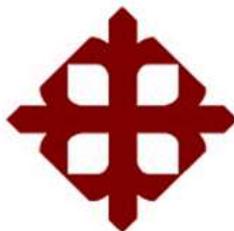
TUTOR

Ing. Mendoza Merchán Eduardo Vicente, Mgs

DIRECTOR DE CARRERA

Ing. Bohórquez Escobar Bayardo, Mgs.

Guayaquil, a los 03 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, **Carlos Yoryi Macías Veliz**

**DECLARO QUE:**

El trabajo de titulación: **Sistema de control de riego para finca agrícola y ganadera, basado en sistemas micro programables**, 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.

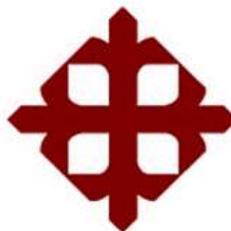
Guayaquil, a los 03 días del mes de septiembre del año 2022

EL AUTOR

*Carlos Macias*

---

Macías Veliz, Carlos Yoryi



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

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

**AUTORIZACIÓN**

Yo, **Macías Veliz, Carlos Yoryi**

Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: **Sistema de control de riego para finca agrícola y ganadera, basado en sistemas micro programables**, previo a la obtención del Título de **Ingeniero Electrónico en Control y Automatismo**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 03 días del mes de septiembre del año 2022

EL AUTOR

*Carlos Macias*

f. \_\_\_\_\_  
**Macías Veliz, Carlos Yoryi**

## REPORTE DE URKUND

**TÍTULO:** Sistema de control de riego para finca agrícola y ganadera, basado en sistemas micro programables.

**AUTOR:** MACIAS VELIZ, CARLOS YORYI.



### Document Information

---

Analyzed document	2022-09-08 Tesis Carlos Macias.docx (D143789594)
Submitted	9/8/2022 9:17:00 PM
Submitted by	
Submitter email	eduardo.mendoza01@cu.ucsg.edu.ec
Similarity	1%
Analysis address	eduardo.mendoza01.ucsg@analysis.orkund.com

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

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

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

## **DEDICATORIA**

Le dedico este trabajo de titulación a mi padre y a mi madre, para reflejar el desempeño que día a día puedo ir forjando, gracias a su ayuda y a la constancia en esta he podido reflejar eso en este proyecto.

A mi prometida por estar junto a mí en estos 5 años de carrera y a su apoyo incondicional en este trabajo, creer en mi capacidad de alcanzar mis metas, siempre resaltando mis logros junto a mí y mi familia, por más duro que ha sido el camino en la enfermedad y los malos momentos, siempre he contado con su apoyo.

Le dedico en gran parte a mi familia que me ha apoyado en estos meses que han transcurrido por los momentos difíciles que hemos pasado en lo personal y en lo profesional.

Resaltando de buena manera y esperando que esta nueva meta por cumplir, sea un gran inicio de una carrera impecable en lo profesional, integrando nuevos conocimientos con personas profesionales en el tema.

MACIAS VELIZ, CARLOS YORYI

## **AGRADECIMIENTOS**

Mis más grandes agradecimiento es a nuestro padre celestial, nuestro Dios que siempre está presente en nuestros hogares y nuestro día a día.

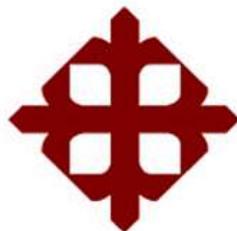
Y como no agradecerle a mi madre que me dio la vida, a mi padre que ha luchado por nuestra familia y gracias a Dios hoy nos mantiene juntos a pesar de las enfermedades, seguidos en la lucha. Espero poder hacerlos sentir orgullosos de mi con este gran logro y desempeño en lo académico.

Agradezco también a la doctora Alexandra Andrade, que es la incentivadora a este gran proyecto con futuros buenos cambios y mejoras, a los ingenieros a su cargo y a personal de trabajo.

Agradezco de manera incondicional a mis docentes que, gracias a sus enseñanzas, hoy puedo decir que estoy por cumplir un objetivo más en mi vida, esperando en un futuro poder aprender mucho más de ellos y poder trabajar en equipo de la mano de mis grandes mentores de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil.

A mis compañeros grandes profesionales que, junto a mí, han estado en este camino he conocido su desempeño en el ámbito académico y profesional y gracias a eso sé que, en el camino nos encontraremos y apoyaremos de manera honesta, ética y profesional, resolveremos problemas o incluso formaremos parte de una gran empresa ya que el objetivo siempre está en emprender.

MACIAS VELIZ, CARLOS YORYI



**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**

f. \_\_\_\_\_  
**M. SC VELEZ TACURI EFRAIN OLIVERIO**  
COORDINADOR DEL ÁREA

f. \_\_\_\_\_  
**MGS. TOMAS BASTIDAS CABRERA**  
OPONENTE

## ÍNDICE GENERAL

Pág.

<b>RESUMEN</b> .....	<b>xv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xvi</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>2</b>
<b>CAPITULO 1: CONSIDERACIONES GENERALES</b> .....	<b>5</b>
1.1. Planteamiento del problema .....	5
1.2. Justificación .....	6
1.3. Delimitación .....	7
1.4. Objetivos.....	7
1.4.1. Objetivo general.....	7
1.4.2. Objetivos específicos .....	8
1.5. Metodología de la investigación.....	8
1.6. Tareas de la investigación .....	9
<b>CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>10</b>
2.1. Estado del arte.....	10
2.2. Sistemas de automatización .....	15
2.2.1. Elementos de sistemas automatizados orientados al riego 16	
2.2.2. Sistemas basados en microcontroladores .....	19
2.3. Redes de comunicación inalámbrica .....	21
2.3.1. Tipos de redes inalámbricas .....	21
2.3.2. Tipos de redes inalámbricas según su rango de frecuencia 23	
2.3.3. Redes de sensores inalámbricos (WSN) .....	24
2.4. Lenguaje de modelado unificado (UML) .....	27
2.4.1. Tipos de Diagramas.....	28
2.5. Redes Petri.....	35
2.5.1. Interpretación típica de estados y transición.....	36
2.5.2. Cambio de estado.....	36
2.5.3. Semántica .....	36
2.5.4. Estructuras.....	37
2.5.5. Propiedades básicas.....	40

2.6.	Sistemas de riego .....	41
2.6.1.	Tipos de sistemas de riego .....	42
<b>CAPITULO 3: DISEÑO DEL SISTEMA.....</b>		<b>45</b>
3.1.	Consideraciones generales de diseño .....	45
3.1.1.	Descripción del sistema .....	45
3.2.	Características del sistema.....	47
3.2.1.	Arduino Leonardo .....	47
3.2.2.	Arduino ESP32 .....	47
3.2.3.	Sensor de humedad.....	48
3.2.4.	Driver I2C.....	49
3.2.5.	Pantalla LCD 4x20 .....	49
3.2.6.	Relés.....	50
3.2.7.	Bomba de agua.....	50
3.2.8.	Sensor ultrasónico HC-SR04 .....	51
3.3.	Funciones del sistema .....	52
3.3.1.	Funciones principales .....	52
3.4.	Arquitectura general del sistema .....	54
3.4.1.	Arquitectura de control .....	54
3.4.2.	Arquitectura de red .....	55
3.4.3.	Arquitectura hardware.....	57
3.5.	Modelado del sistema de riego .....	59
3.5.1.	Diagramas de casos de uso.....	59
3.5.2.	Diagramas de secuencia.....	60
3.5.3.	Diagramas de estado .....	61
3.6.	Modelado en redes de Petri del sistema de riego.....	63
3.6.1.	Ecuaciones de Redes de Petri.....	65
3.6.2.	Matriz de inhibición H.....	65
3.6.3.	Matriz de Marcado .....	66
3.6.4.	Transiciones habilitadas.....	66
3.6.5.	Análisis del espacio de datos .....	66
3.7.1.	Tarjeta de control .....	67
3.7.2.	Nodo sensor.....	68
3.7.3.	Supervisión remota .....	69

3.7.4. Evaluación del sistema .....	70
<b>CAPITULO 4: PRESENTACIÓN DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>74</b>
4.1. Presentación de resultados .....	74
4.2. Resultados del estado del arte .....	74
4.3. Resultados de la arquitectura .....	74
4.4. Resultados del UML y Redes de Petri .....	75
4.5. Cumplimiento de las funciones del sistema .....	76
4.6. Cumplimiento de los Objetivos .....	76
4.6.1. Objetivo general .....	76
4.6.2. Objetivos específicos .....	76
4.7. Problemas de investigación .....	77
<b>CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>78</b>
<b>5.1 CONCLUSIONES .....</b>	<b>78</b>
<b>5.2 RECOMENDACIONES.....</b>	<b>80</b>
<b>5.3 TRABAJO FUTURO.....</b>	<b>80</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>81</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1.</b> Modelo estructural de un sistema .....	16
<b>Figura 2.</b> Sensor de Presencia.....	17
<b>Figura 3.</b> Sensor de Movimiento .....	17
<b>Figura 4.</b> Transductor de presión .....	18
<b>Figura 5.</b> Probeta de temperatura .....	18
<b>Figura 6.</b> Focelda .....	19
<b>Figura 7.</b> Sistema de microcontroladores básico .....	19
<b>Figura 8.</b> Ejemplo de Microcontrolador .....	20
<b>Figura 9.</b> WMAN: Red de área metropolitana inalámbrica. ....	22
<b>Figura 10.</b> Ejemplo de un Diagrama de componentes para un software de correo electrónico .....	29
<b>Figura 11.</b> Ejemplo de diagrama de casos de uso sistema de registro en el RUNT.....	31
<b>Figura 12.</b> Diagrama de estados recibe orden y recibe existencia.....	32
<b>Figura 13.</b> Diagrama de estados biblioteca .....	33
<b>Figura 14.</b> Ejemplo de red Petri de máquina expendedora .....	36
<b>Figura 15.</b> Activación y desactivación. ....	36
<b>Figura 16.</b> Transiciones.....	37
<b>Figura 17.</b> Estructura sincronizada.....	37
<b>Figura 18.</b> Buffer limitado .....	38
<b>Figura 19.</b> Producto-consumidor Ilimitado .....	38
<b>Figura 20.</b> Producto-consumidor limitado.....	39
<b>Figura 21.</b> Recursos compartidos .....	39
<b>Figura 22.</b> Recursos compartidos - arcos inhibidores .....	40
<b>Figura 23.</b> Recursos compartidos – alternancia .....	40
<b>Figura 24.</b> Ejemplo de sistema de riego automático .....	42
<b>Figura 25.</b> Ejemplo de esquema de sistema de riego por aspersión .....	43
<b>Figura 26.</b> Ejemplo de sistema de riego por goteo.....	44
<b>Figura 27.</b> Diagrama de flujo.....	46
<b>Figura 28.</b> Arduino Leonardo.....	47

<b>Figura 29.</b> Arduino ESP32 .....	48
<b>Figura 30.</b> Sensor de humedad Arduino .....	48
<b>Figura 31.</b> Módulo I2C.....	49
<b>Figura 32.</b> Pantalla Lcd 4x20.....	49
<b>Figura 33.</b> Relé.....	50
<b>Figura 34.</b> Bomba de agua weg .....	50
<b>Figura 35.</b> Sensor de ultrasónico HC-SR04 .....	51
<b>Figura 36.</b> Pirámide de automatización.....	55
<b>Figura 37.</b> Red general inalámbrica de sistema de riego .....	56
<b>Figura 38.</b> Diagrama de arquitectura de red .....	57
<b>Figura 39.</b> Arquitectura hardware.....	58
<b>Figura 40.</b> Arquitectura del nodo sensor .....	59
<b>Figura 41.</b> Diagrama de casos de uso del sistema de riego automatizado .	60
<b>Figura 42.</b> Diagrama de secuencia .....	61
<b>Figura 43.</b> Diagrama de estado.....	62
<b>Figura 44.</b> Red Petri de sistema de riego.....	64
<b>Figura 45.</b> Matriz de inhibición H .....	65
<b>Figura 46.</b> Matriz de marcado .....	66
<b>Figura 47.</b> Transiciones habilitadas .....	66
<b>Figura 48.</b> Análisis de espacio de datos .....	67
<b>Figura 49.</b> Diagrama de flujo de tarjeta de control .....	68
<b>Figura 50.</b> Diagrama de flujo del nodo sensor.....	69
<b>Figura 51.</b> Diagrama de flujo de la supervisión remota .....	70
<b>Figura 52.</b> Red de Petri del proceso de verificación de parámetros.....	72

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1.</b> Interpretación típica de estados y transición .....	36
<b>Tabla 2.</b> Características de bomba weg .....	51
<b>Tabla 3.</b> Características del sensor ultrasónico .....	52

## RESUMEN

En una sociedad moderna, mantener una finca agrícola grande, resulta complejo, debido a que las plantas se deshidratan por falta de riego. Para evitar esto, se plantea proyectar un sistema de riego automático aplicables una finca, que combine soluciones de hardware y software libres, para medir la humedad de la tierra, porque forman parte del ecosistema del huerto. Esta solución se controla a partir de un Microcontrolador Arduino, que actúa como centro de operaciones para asegurar el suministro y la dosificación de agua, por medio de una bomba de agua y un relé de activación para mantener hidratadas plantas. El modelado UML ayudo a identificar los actores presentes en el sistema de riego, es decir, usuarios, técnicos y finca. En el diagrama de casos de uso se describen seis acciones en las que participan, en el diagrama de secuencia se realizan doce procesos durante la operación del sistema y en el diagrama de estados se describen las acciones del sistema de riego Aroma en general. El modelado con la red de Petri permitió observar el funcionamiento de un sistema de riego e identificar los diferentes procesos que allí tienen lugar. Después de determinar la relación de variables del proceso, como el nivel de humedad, el nivel del tanque de agua, la temperatura y la presión de la bomba, se verificó que sistema funciona según lo establecido en los modelos.

**Palabras Clave:** AUTOMATIZACIÓN DE RIEGO, UML, REDES DE PETRI, SISTEMA DE RIEGO.

## ABSTRACT

In a modern society, maintaining a large agricultural farm is complex, because the plants dehydrate due to lack of irrigation. To avoid this, it is proposed to project an automatic irrigation system applicable to a farm, which combines free hardware and software solutions, to measure the humidity of the earth, because they are part of the orchard ecosystem. This solution is controlled from an Arduino Microcontroller, which acts as an operations center to ensure the supply and dosage of water, by means of a water pump and an activation relay to keep plants hydrated. The UML modeling helped to identify the actors present in the irrigation system, that is, users, technicians, and the farm. In the use case diagram, 6 actions are described in which they participate, in the sequence diagram 12 processes are carried out during the operation of the system and in the state diagram the actions of the Aroma irrigation system are described in general. Modeling with the Petri net allowed observing the operation of an irrigation system and identifying the different processes that take place there. After determining a series of process variables, such as humidity level, water tank level, temperature, and pump pressure, it was possible to verify that when the system starts when these variables are within the correct range.

**Keywords:** IRRIGATION AUTOMATION, UML, PETRI NETS, IRRIGATION SYSTEM.

## INTRODUCCIÓN

El consumo de agua en una finca agrícola y ganadera, es muy excesivo, debido y en periodos de verano este problema se intensifica, lo anterior sumado al arduo trabajo que representa tener las plantas hidratadas, genera una oportunidad de innovación de los procesos que se generan en la misma, por lo que fue necesario el diseño de un sistema de riego automatizado, la importancia del diseño de este sistema reside en la necesidad de disminuir el consumo de agua y facilitar el trabajo con la automatización, por lo que el objetivo general de esta investigación es estudiar un sistema de riego automatizado utilizando sistemas micros programables aplicables a una finca ganadera y agrícola, para optimizar el consumo de agua. Proceso el cual tiene una metodología descriptiva documental, ya que se necesitó describir todos los elementos que definen el óptimo funcionamiento del sistema, a través de un análisis documental del mismo.

Las nuevas tecnológicas surgen cada vez más rápido, por lo que el estudio del estado del arte ayudo a determinar las tecnológicas más factibles y recientes utilizadas en este campo garantizando el óptimo funcionamiento, a través, de la comparación de los resultados obtenidos por las diferentes investigaciones estudiadas, las cuales, apoyadas en la teoría específica para el desarrollo del sistema, permiten el completo funcionamiento e interpretación de la misma.

El sistema de riego automatizado está diseñado en base a los microprocesadores Arduino, los cuales son los controladores del sistema. Dicho sistema está compuesto por una variedad de sensores. El sensor de humedad, el sensor ultrasónico para medir el nivel del tanque agua y el sensor de temperatura para medir la temperatura de la bomba, estos elementos trabajan en conjunto para el funcionamiento del sistema, el cual envía información a través de un ESP32 mediante conexión WIFI, hacia la supervisión remota la cual estará encarga de observar cambios en los

parámetros, se utiliza un sistema jerárquico de control el cual está conformado por la supervisión remota, la supervisión, el centro de control y las unidades de campo.

Los capítulos de la investigación se presentan de la siguiente manera:

El Capítulo 1, proporciona una introducción a la investigación, un breve resumen de los problemas encontrados en los sistemas de riego automatizados y una definición del alcance de la investigación, el conjunto de objetivos y los métodos de investigación utilizados.

En el Capítulo 2, se basa en la tecnología de punta en los sistemas de riego automáticos, que es la base para el desarrollo del sistema. La investigación comienza con un análisis de los sistemas de riego existentes, redes de sensores y microcontroladores. Luego se realiza una investigación de modelado UML para permitir el diseño de la propuesta. Finalmente, se realiza una investigación de la red de Petri utilizada para modelar el comportamiento dinámico del sistema de eventos.

El Capítulo 3, trata sobre la previsión y el modelado de sistemas de riego automatizados. Comenzando con la definición inicial del sistema, se presenta el diseño del sistema. Una vez obtenido el diseño, se modela el sistema mediante una serie de diagramas, esas secuencias con interacciones para luego implementar el modelo.

El Capítulo 4, se presenta la validación del modelo, mediante la presentación de los resultados obtenidos de las redes Petri y diagramas UML.

En el capítulo 5, se analizan las conclusiones a las que se llegó tras la implementación y determinación de la fiabilidad del modelo, las recomendaciones propuestas y una breve descripción del trabajo futuro en base a los resultados obtenidos.

El modelado del sistema de riego automatizado arrojó resultados, que permitió verificar la funcionalidad de arquitecturas propuestas modeladas y simuladas en redes de Petri, por otras investigaciones. Las propiedades de la red de Petri predijeron el comportamiento adecuado del sistema propuesto.

## **CAPITULO 1: CONSIDERACIONES GENERALES**

### **1.1. Planteamiento del problema**

La automatización de las actividades agrícolas puede transformar la agricultura dominio de ser manual y estático a inteligente y dinámica que conduce a una mayor producción con menos humanos supervisando. La gestión del agua es primordial en países con escasez de agua. Esto también afecta a la agricultura, ya que se dedica una gran cantidad de agua a ese uso. Las posibles consecuencias del calentamiento global llevan a considerar la creación de medidas de adaptación hídrica para asegurar la disponibilidad de agua para la producción y consumo de alimentos (García, 2020), (Rau, 2017). Con el advenimiento de la tecnología, el mundo que nos rodea se está automatizando.

Los sistemas automáticos están siendo favorecidos sobre los sistemas manuales, ya que son energéticamente eficientes y minimizan la necesidad de tedioso trabajo manual. La automatización puede moderar hábilmente la cantidad de trabajo manual, y hacer que la agricultura sea más fácil y rápida, lo que lleva a un mayor crecimiento agrícola. La automatización agrícola eficiente en energía es la necesidad del momento en una economía basada en la agricultura (Maharatna, 2020). Si bien las prácticas de automatización en la agricultura han aumentado con el tiempo, todavía existen desafíos de adopción debido a la falta de inversión, la conciencia sostenible, la falta de habilidades de los productores y la competencia en el mercado. En países de ingresos bajos y medios, la implementación exitosa de un Sistema Integrado Cultivo-Ganadería, o por sus siglas en inglés (ICLS), requiere apoyo organizacional y/o institucional para crear nuevas oportunidades de mercadeo y la adopción de ICLS se puede mejorar si las políticas gubernamentales proporcionan capital, mercados, y servicios educativos para agricultores de subsistencia.

En las fincas ganaderas y agrícolas del Ecuador, el declive de producción en tiempos de verano es evidente, los productos no se desarrollan

como se deben se pasan como criollamente se dice, y en la ganadería la producción de leche baja, el ganado enflaquece y en ocasiones se enferman, por el simple hecho de una falta de alimentación y nutrientes claro que se puede compensar con buenas vitaminas, pero de aquí se genera una problemática de qué sirve el medicamento si no se alimenta de la manera que se debe y es así, como nos damos cuenta del uso de un sistema de riego es más que necesario para toda producción agrícola como ganadera. Con base en lo analizado, se formula la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo beneficia la automatización del riego en fincas agrícolas y ganaderas en tiempos de verano?

## **1.2. Justificación**

La necesidad de realizar este proyecto radica en que la mayoría de los sistemas de riego no son inteligentes ni automáticos, y estos últimos sistemas son muy costosos, especialmente para una población de bajos recursos económicos. Este proyecto es muy útil dado que la implementación de un sistema de riego automatizado mejora significativamente el proceso tradicional, utilizando diferentes recursos como equipos y software diseñado para las funciones exactas que la industria ha implementado.

En el transcurso de los años, el ganadero en su labor sea dado cuenta que, una hectárea de pasto es para mantener una res de un tamaño estimado de 400 kilos, para mantenerse y llevar una vida estable. Ya ahora sabiendo esto el ganadero con la innovación de diferentes tipos de sistemas que se presentan día a día, que la industria va a crecer mucho más rápido y las palabras claves para esto es la automatización de los procesos, y la explotación ganadera, su manejo es un sistema poco automatizado. En relación con lo ya dicho, en una zona de 5 hectáreas, se podrá mantener 20 reses, llevando una implementación de un sistema de control de riego rotacional automatizado, con esto ahorrar espacio, menos recorrido para el animal, aumentando su nivel de producción y llevando una vida más sedentaria que ayuda a tener mejor calidad de vida animal.

### **1.3. Delimitación**

La presente investigación está enfocada a la automatización de sistemas de riego, analizando los posibles problemas que se pueden dar en los sectores agrícolas como ganaderos, para que a través de una selección e implementación de sensores y microcomponentes programables de bajo costo y de alto rendimiento y está a su vez se provee implementar en una finca cacaotera y ganadera en la provincia de Manabí, en el cantón Olmedo, en el km 7 vías Las Cano. Donde se encuentra ya una implementación de riego sin automatización con elevados consumos de energía y con pagos de trabajadores elevados para llevar el control del riego. Se ha considerado como base una finca real, de la cual se puedan tomar datos de esta, que sirvan como elementos para proyectar un sistema y sus componentes, definir arquitecturas de automatización y topologías de red que se adapten al relieve y dimensiones del sitio, que permitan resolver una problemática local. Finalmente, se establece que el presente estudio se orienta a proponer un sistema de automatización, cuya evaluación será a través de modelados y simulaciones, dada la complejidad y costo, que implicaría una implementación del sistema en el sector mencionado.

### **1.4. Objetivos**

#### **1.4.1. Objetivo general**

Estudiar un sistema de riego automatizado utilizando sistemas micros programables aplicables a una finca ganadera y agrícola, para optimizar el consumo de agua.

#### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Diseñar un sistema de riego automatizado para una finca ganadera
- Modelar el sistema de riego automatizado agropecuario empleando el lenguaje de modelado Unificado (UML).
- Evaluar el sistema de automatización propuesto a través de la descripción y simulación del sistema utilizando redes de Petri.

#### **1.5. Metodología de la investigación**

El trabajo de investigación se orienta a un estudio de tipo correlacional con enfoque cuantitativo, dado que, la relación entre las diferentes variables es lo que se analiza y verifica, y la configuración de estas variables permite la integración eficiente de sus componentes. Para Arias (2012) la investigación descriptiva consiste en caracterizar hechos, fenómenos, individuos o grupos en términos de su estructura o comportamiento. Los resultados de este estudio son moderados en términos de profundidad de conocimiento. Por consiguiente, la investigación realizada es de tipo descriptiva, ya que la misma comprende la descripción del proceso que se debe llevar a cabo para que el sistema de riego funcione adecuadamente, recolectando información de las características del proceso, así como también el comportamiento del sistema.

Del mismo modo, este tipo de investigación también es documental, ya que de acuerdo con Arias (2012) la investigación documental es un proceso basado en buscar, analizar, criticar e interpretar datos secundarios, datos obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales impresas, audiovisuales o electrónicas. Al igual que con otros estudios, el propósito de este diseño es proporcionar nuevos conocimientos. Efectivamente, para el desarrollo de la presente investigación es necesaria la consulta de material bibliográfico como libros, artículos e instructivos referentes al diseño y simulación de sistemas de riego automatizado.

Por último, la investigación se considera de tipo predictiva según lo expuesto por (Hurtado, 2005), el cual reza que el investigador puede observar

y analizar un evento durante cierto tiempo para buscar explicaciones entre sí, de modo tal que se logre establecer cuál será la tendencia en el futuro y precisar cuál será el más favorable. En este sentido, con el desarrollo de esta investigación se buscó la predicción de un conjunto de condiciones óptimas para el funcionamiento de un sistema de riego automatizado.

## **1.6. Tareas de la investigación**

Para llevar a cabo el proceso investigativo y cumplir con los objetivos planteados se seguirán los siguientes pasos:

- Revisión, análisis y síntesis de información para la determinación de diseño del sistema de riego automatizado.
- Delimitación del área de implementación del sistema.
- Determinación de componentes necesarios para su correcto funcionamiento.
- Definición y análisis de variables del proceso.
- Definir disposiciones de componentes del sistema.
- Modelado en UML para describir la estructura, el comportamiento y los objetos que requiere el sistema.
- Evaluación de costo para la implementación del sistema automatizado de riego.
- Análisis del comportamiento del sistema aplicando la teoría de las redes PETRI.
- Configuración de componentes del sistema de riego.
- Pruebas de funcionamiento del sistema de riego automatizado.
- Evaluación y corrección de errores que presente el proceso.
- Comparación de resultados con investigación similares para determinar su funcionamiento.

## CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Estado del arte

El estado del arte de este trabajo de investigación comienza presentando artículos científicos que respaldan el estudio de sistemas de riegos automatizados, así como sus características y resultados obtenidos. Con esto se deseada describir las tecnologías utilizadas, para de alguna manera fomentar las bases del presente estudio.

Según (Joaquín Gutiérrez, 2014)Se desarrolló un sistema de riego automatizado para optimizar el uso del agua para cultivos agrícolas. El sistema cuenta con una red inalámbrica distribuida de sensores de temperatura y humedad del suelo colocados en la zona radicular de las plantas. Además, una unidad de puerta de enlace maneja la información del sensor, activa los actuadores y transmite datos a una aplicación web. Se desarrolló un algoritmo con valores de umbral de temperatura y humedad del suelo que se programó en una puerta de enlace basada en un microcontrolador para controlar la cantidad de agua. El sistema estaba alimentado por paneles fotovoltaicos y tenía un enlace de comunicación dúplex basado en una interfaz de Internet celular que permitía programar la inspección de datos y la programación del riego a través de una página web. El sistema automatizado se probó en un campo de cultivo de salvia durante 136 días y se logró un ahorro de agua de hasta un 90% en comparación con las prácticas tradicionales de riego de la zona agrícola. Tres réplicas del sistema automatizado se han utilizado con éxito en otros lugares durante 18 meses. Debido a su autonomía energética y bajo costo, el sistema tiene el potencial de ser útil en áreas geográficamente aisladas con limitaciones de agua.

En la investigación de (Guijarro, 2022) el problema fundamental en el que se enfrasca este proyecto es la poca disponibilidad para mantener hidratado los cultivos. En una sociedad moderna, mantener huertos domésticos resulta complejo, debido a que los jardines se secan por falta de

hidratación. Para evitar esto, se plantea diseñar un sistema de riego automático, que combine soluciones de hardware y software libres, para medir la humedad de la tierra y el aire porque forman parte del ecosistema del huerto. A esta solución se le añadió un microcontrolador, que actúe como centro de operaciones para asegurar el suministro y la dosificación de agua para mantener hidratada una planta. Por lo expuesto, esta solución, incluye una aplicación móvil que, utilizando tecnología Bluetooth, establece el canal de comunicación con el microcontrolador, permitiendo la emisión y recepción de las señales generadas por los sensores del sistema, logrando minimizar el trabajo de las personas.

La agricultura según (Rao, 2018) juega un papel vital en el desarrollo de un país agrícola como la India. Los problemas relacionados con la agricultura siempre han obstaculizado el desarrollo del país. La única solución a este problema es la agricultura inteligente mediante la modernización de los actuales métodos tradicionales de agricultura. Por lo tanto, el método propuesto tiene como objetivo hacer que la agricultura sea inteligente utilizando tecnologías de automatización e IoT. Internet de las cosas (IoT) permite varias aplicaciones de seguimiento y selección del crecimiento de cultivos, apoyo a la decisión de riego, etc. Se propone un sistema IoT de riego automático basado en Raspberry Pi para modernizar y mejorar la productividad del cultivo. El objetivo principal de este trabajo es el desarrollo de cultivos con un bajo consumo de agua. Para enfocarse en el agua disponible para las plantas en el momento requerido, para ese propósito, la mayoría de los agricultores pierden mucho tiempo en los campos. Se debe desarrollar una gestión eficiente del agua y reducir la complejidad del circuito del sistema. El sistema propuesto se desarrolló a partir de la información enviada desde los sensores y estimar la cantidad de agua necesaria. Se utilizan dos sensores para llevar los datos a la estación base: la humedad y la temperatura del suelo, la humedad, la temperatura y la duración de la luz solar por día. Los sistemas propuestos en base a estos valores y se requiere calcular la cantidad de agua para riego. La principal ventaja del sistema es la implementación de agricultura de precisión (PA) con computación en la nube, que optimizará el uso de fertilizantes de agua mientras maximiza el

rendimiento de los cultivos y también ayudará a analizar las condiciones climáticas del campo. El sistema propuesto se desarrolló a partir de la información enviada desde los sensores y estimar la cantidad de agua necesaria. Se utilizan dos sensores para llevar los datos a la estación base: la humedad y la temperatura del suelo, la humedad, la temperatura y la duración de la luz solar por día.

El Internet de las cosas (IoT) se ha señalado (Rajkumar, 2017) como una nueva ola de avances en las tecnologías de la información y la comunicación (TIC). El IoT es un concepto multidisciplinario que abarca una amplia gama de varias tecnologías, dominios de aplicación, capacidades de dispositivos y estrategias operativas, etc. Las actividades de investigación en curso de IoT están dirigidas hacia la definición y el diseño de estándares y arquitecturas abiertas que aún tienen problemas, requiriendo un consenso global antes del despliegue final. Este documento ofrece una visión general de las tecnologías y aplicaciones de IoT relacionadas con la agricultura con la comparación de otros documentos de encuesta y propone un sistema de gestión de riego novedoso. Nuestro objetivo principal de este trabajo es para la agricultura donde varias tecnologías nuevas produzcan un mayor crecimiento de los cultivos y su suministro de agua.

El riego en los sistemas agrícolas es responsable de la mayor parte del consumo mundial de agua dulce. En este papel, centramos nuestro estudio en aplicar los conceptos y herramientas de la Internet de las cosas (IoT) para sistemas de riego para pastos. En este caso particular, estudiamos una arquitectura basada en IoT para sistemas de riego utilizando pronóstico del tiempo, con base en su disponibilidad controla la decisión de riego (Arrieta, 2020). El resultado de la prueba de concepto de la arquitectura propuesta muestra el potencial para el ahorro de agua, la optimización de recursos y los desafíos de una aplicación real y generalizada. Para esta aplicación, donde integramos herramientas IoT con sistemas de riego teniendo en cuenta el pronóstico del tiempo, era necesaria una base de lógica difusa, ya que a través de la API obtenemos los datos sobre la precipitación pluvial y su intensidad.

Este artículo de (Rahman, 2022) describe un sistema automatizado de proceso de riego que implica una disposición de sensor en el cultivo de campo, transmisión inalámbrica de los datos del sensor usando un transmisor de RF y un sistema de control para evaluar los datos a nuestro nivel requerido y gestionar adecuadamente funcionamiento de la bomba de riego. El enfoque principal de este papel es presentar un bajo costo asequible y bajo consumo de energía solución al proceso de riego, con el fin de proliferar el proceso de automatización en el mismo. El sistema incluye sensores y microcontrolador para enviar datos utilizando módulos RF que, por lo tanto, se utilizará en la unidad de control que consta de Arduino Nano y conexión de relé a la bomba. El usuario puede establecer fácilmente el nivel de agua requerido necesario para el definido Cultive y utilice el sistema para un proceso de riego preciso. Este ayudará a largo plazo a reducir el desperdicio de agua y el tiempo proceso de riego.

En los últimos años, se estudia el mejor sistema de riego reduciendo la cantidad de agua y electricidad desperdiciada. El riego automático es el uso de un dispositivo para operar las estructuras de riego, de modo que el cambio de flujo de agua de una bahía, o conjunto de bahías, a otro pueda ocurrir en ausencia del irrigador (Safwan A. Hamoodi, 2022). En este trabajo, sistema de control automático de riego solar implementado prácticamente utilizando placa Arduino. Este sistema fotovoltaico (PV) se aplica en el jardín de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Mosul (ciudad de Irak). El sistema fotovoltaico se puede ajustar en muchas regiones de Irak, donde se planeó conectar una pequeña parte de la tierra. El proceso de riego se controla según el sensor de humedad que se conecta para detectar la humedad del suelo y proporciona datos al pin de lectura de Arduino. De acuerdo con el programa que se cargó en Arduino, la bomba de CC se puede controlar como estado ENCENDIDO o APAGADO, con respecto a la relación de porcentaje de humedad del suelo. Finalmente, los resultados prácticos son aproximadamente similares a los obtenidos con el simulador de Proteus Arduino.

Según (Mónica, 2022), India tiene una población de más de mil millones y su necesidad de agua aumenta cada año a medida que aumenta la demanda de alimentos, por lo tanto, la gestión de los recursos hídricos para mantener a esta población masiva es de gran importancia. El sector agrícola, un sector importante de nuestra economía, representa un buen porcentaje del PIB de nuestra nación y de las exportaciones. Con el avance de la tecnología podemos establecer un sistema que automatice el proceso de riego de tal manera que haya un uso eficiente del agua y cree una facilidad de carga de trabajo para los agricultores. Con tecnología integrada e Internet de las Cosas, en este trabajo hemos diseñado un sistema de riego automatizado basado en IoT para el escenario indio. Nuestro sistema es capaz de entregar agua óptima a las plantas en función de los niveles de humedad, luz y temperatura que se obtienen a través de sensores. El agricultor podrá monitorear los parámetros a través de la aplicación móvil que está integrada con el almacenamiento en la nube. Al analizar y comparar los datos del año anterior y nuestros datos actuales, se puede encontrar de manera eficiente una manera de ahorrar agua.

Según (Naik, 2018) India es principalmente un país agrícola. La agricultura es lo más importante. Ocupación para la mayoría de las familias indias. Desempeña un papel vital en el desarrollo del país agrícola. En la India, la agricultura contribuye alrededor de 16% del PIB total y 10% de las exportaciones totales. El agua es el principal recurso para Agricultura. El riego es un método para suministrar agua, pero en algunos casos hay habrá mucho desperdicio de agua. Entonces, en este sentido, para ahorrar agua y tiempo tenemos proyecto propuesto titulado sistema de riego automático usando IoT. En esta propuesta sistema estamos utilizando varios sensores como la temperatura, la humedad, la humedad del suelo, sensores que detectan los diversos parámetros del suelo y basados en el suelo El valor de humedad de la tierra se riega automáticamente con el encendido/apagado del motor. Estas Los parámetros detectados y el estado del motor se mostrarán en Android del usuario solicitud.

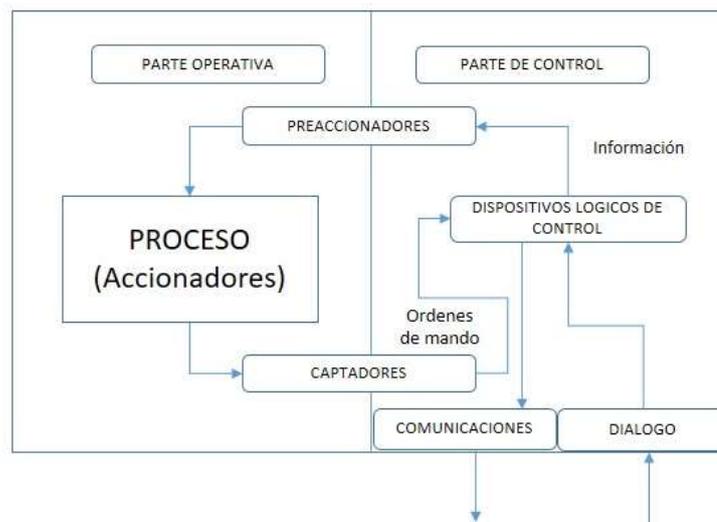
Los arrozales tienen suelo cultivable con superficie media como lugar para plantar arroz. Los arrozales están conectados a una fuente de riego. Para producir arroz de buena calidad, se requeriría un suministro de agua suficiente y un tratamiento de fertilización. Además, hay varios factores que pueden afectar el crecimiento del arroz, que son los cambios de clima, la acidez del agua, el nivel de riego del agua y el uso de fertilizantes que no encajan con la característica del arrozal (Mutiarra, Hapsari, & Kusumo, 2017). Es muy difícil controlar todos los factores, manualmente. Por lo tanto, necesita un prototipo que consista en sensores y microcontroladores que puedan controlar todos estos factores. Este prototipo proporcionará información sobre el nivel de agua automáticamente a través de SMS, encenderá / apagará automáticamente el agua de acuerdo con el cronograma, proporcionará la información del valor de pH del agua y controlará la provisión de la cantidad adecuada de fertilizante para las características del suelo y el arroz. Este prototipo tiene como objetivo ayudar a los agricultores a controlar su campo de arrozales. Según los resultados de las pruebas, todo el sistema puede funcionar correctamente y poder controlar todo el sistema y dar información sobre la pantalla y el agricultor a través de SMS.

## **2.2. Sistemas de automatización**

En el contexto actual, los sistemas automáticos se definen como ciencia y tecnología de automatización, uniendo todos los campos, elementos teóricos y tecnológicos relacionados con el diseño, construcción y el uso de sistemas automatizados, esto constituye los aspectos teóricos de la cibernética y está estrechamente asociado con matemáticas, estadística, teoría de la información, informática e ingeniería de proyectos (Moreno, 2001).

La estructura de un sistema automatizado se puede clasificar en dos partes, como se observa en la figura 1, por un lado, la parte operativa, formada por un conjunto de equipos, maquinaria o hilados, destinados a realizar determinadas funciones productivas; más específicamente, podría ser una máquina herramienta para realizar mecanizados más o menos sofisticados, especializado para tareas como destilación, fundición, etc.

Por otro lado, tenemos la parte de control o mando, independientemente de electrónica, neumática, hidráulica, etc. es el dispositivo encargado de ejecutar la coordinación entre diversas actividades encaminadas a mantener al proceso en control. La presentación de la sección operativa se efectúa al mantener un constante intercambio de información entre otra parte y los controles o comandos. Este intercambio se establece por sensor binario, sonda analógica o digital y un dispositivo de pre-acción. La información se recopila dando los valores de magnitudes físicas a controlar, así como cambio de estado, enviando esta información al controlador para su tratamiento, después de procesar la información, se envían acciones al controlador por los pre-accionadores (Moreno, 2001).



**Figura 1.** Modelo estructural de un sistema (Moreno, 2001)

## 2.2.1. Elementos de sistemas automatizados orientados al riego

### 2.2.1.1. Sonda de presencia

Estos son interruptores como se muestra en la figura 2, que se utilizan para determinar la posición de un objeto o de una parte móvil: Cuando el objeto o parte llega al final carrera, actuando sobre una palanca, pistón o biela, produciendo algunos pequeños contactos (Izaguirre, 2012).



**Figura 2.** Sensor de Presencia (Solutions, 2022)

### **2.2.1.2. \_Detector de movimiento**

Un sensor de movimiento o desplazamiento es un dispositivo capaz de medir la distancia entre objetos (Figura 3). Los sensores de proximidad también se pueden considerar como sensores de desplazamiento para distancias muy pequeñas (Ramírez, Jiménez, & & Carreño, 2014).



**Figura 3.** Sensor de Movimiento (Aldea, 2016).

### **2.2.1.3. Transductor de presión**

Los sensores de presión o transductores de presión son elementos que transforman la intensidad física de presión o fuerza por unidad de área en otro amperaje eléctrico que será el amperaje eléctrico, que se utilizará en la automatización del dispositivo o equipo de adquisición estándar (Figura 4). El rango de medida es muy amplio, desde unas milésimas de barra hasta miles de bares (Ramírez, Jiménez, & & Carreño, 2014).



**Figura 4.** Transductor de presión (Solutions, 2022).

#### **2.2.1.4. Probeta de temperatura**

Son dispositivos donde la variación del valor óhmico del sensor térmico se puede convertir en una señal de corriente proporcional. Estas señales pueden ser empleadas para activar:

- Indicador de bobina de movimiento convencional
- Indicador digital de temperatura
- Registrador de temperatura
- Centro de control y ordenador.

Se usan tanto en el sector de la calefacción, la ventilación o el aire acondicionado, como en cualquier otro lugar donde se requiera un control de la temperatura durante la producción (Figura 5). Las sondas de temperatura difieren en el principio de medición (Izaguirre, 2012).



**Figura 5.** Probeta de temperatura (Solutions, 2022).

#### **2.2.1.5. Fotocélulas**

Mecanismo de apertura/cierre. Las celdas fotovoltaicas, como se denota, tienen una serie de aplicaciones, es común colocar celdas

fotovoltaicas en las líneas de entrada, las cuales se sincronizan con un sistema de apertura automática (Figura 6). Vemos este tipo: puertas de garaje, puertas de ascensor, puertas de entrada, entre otras: puertas que se abren automáticamente cuando se corta el haz, porque esto indica la presencia de una persona u objeto (Izaguirre, 2012).



**Figura 6.** Fotocelda (Solutions, 2022).

### 2.2.2. Sistemas basados en microcontroladores

Un sistema basado en microcontroladores como se muestra en la figura 7, es una colección de dispositivos electrónicos de entrada y salida interconectados con un microcontrolador (abreviado  $\mu C$ , UC o MCU) con el fin de proporcionar una solución automatizada en muchas áreas de aplicación (automotriz, doméstica, industrial, médica, robótica, exploración, etc) (Tinetti & Lopez, 2007). En la figura 2, se muestra los tres bloques básicos de un sistema de microcontrolador:

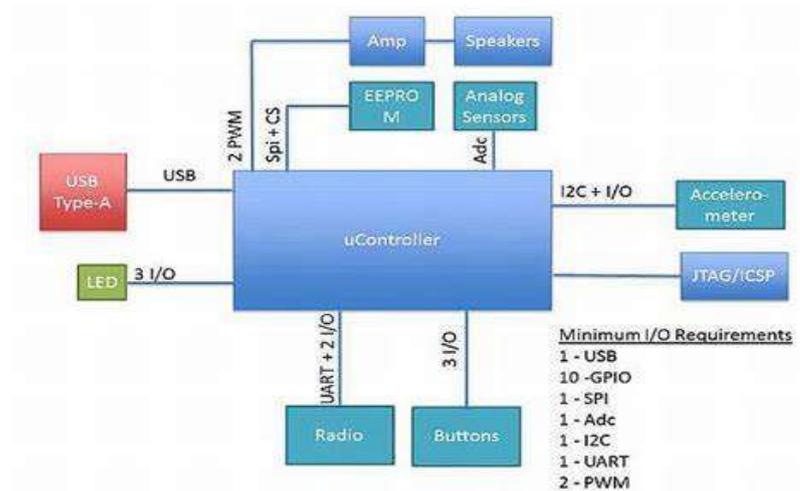


**Figura 7.** Sistema de microcontroladores básico (Tinetti & Lopez, 2007).

#### 2.2.2.1. Microcontroladores

Un microcontrolador es un circuito integrado programable que es capaz de ejecutar instrucciones almacenadas en su memoria como se muestra en la

figura 8. Los microcontroladores más comunes en uso hoy en día son Microchip PIC, Atmel AVR y Arduino (usando el microcontrolador Atmel) (Tinetti & Lopez, 2007).



**Figura 8.** Ejemplo de Microcontrolador. (Tinetti & Lopez, 2007).

### 2.2.2.2. Dispositivos de entrada

Son todos aquellos dispositivos que tienen la capacidad de cambiar de estado en respuesta a un evento que les afecta y genera una señal que el microcontrolador puede utilizar para realizar una instrucción u operación decisiva: interruptores, pulsadores, teclados, receptores de telecomunicaciones (bluetooth, wifi, ethernet, radiofrecuencia, infrarrojos) y una completa gama de sensores (temperatura, presión, distancia, movimiento, humedad, luz, gas, etc.). Para la mayoría de los sensores, es necesario convertir la señal eléctrica que producen en una señal digital, para lo cual se utilizan ADC (convertidores analógicos a digitales), externos o integrados en el microcontrolador (Tinetti & Lopez, 2007).

### 2.2.2.3. Dispositivo de salida

Los dispositivos de salida son responsables de recibir señales del microcontrolador y realizar acciones específicas; Entre los dispositivos más utilizados se encuentran imagen (LED, LCD), Dispositivo Auditivo (silbato), transmisor de telecomunicaciones (bluetooth, wifi, ethernet, radiofrecuencia,

infrarrojo) y actuador (relé, motor, electroválvula, electroimán, servomotor, motor) (Tinetti & Lopez, 2007).

### **2.3. Redes de comunicación inalámbrica**

El término red inalámbrica se utiliza en informática para referirse a la conexión de nodos que se realiza mediante ondas electromagnéticas, sin necesidad de una red cableada o alámbrica. La transmisión y la recepción se realizan a través de los puertos. Una de sus principales ventajas es su notable coste, ya que se eliminan los cables Ethernet y las conexiones físicas entre nodos.

#### **2.3.1. Tipos de redes inalámbricas**

##### **2.3.1.1. WPAN: red de área personal inalámbrica**

En este tipo de red de cobertura personal, existen tecnologías basadas en HomeRF (un estándar para conectar todos los teléfonos móviles del hogar y los ordenadores a través de un dispositivo central); Bluetooth (el protocolo cumple con la especificación IEEE 802.15.1); ZigBee (basado en la especificación IEEE 802.15. Y utilizado en aplicaciones como la automatización del hogar, que requiere una comunicación segura con bajas tasas de transferencia de datos y maximiza la duración de la batería, bajo consumo de energía); RFID (sistema remoto de almacenamiento y recuperación de datos destinado a transmitir la identidad de un objeto) (similar a un número de serie único) mediante ondas de radio (Madrid, 2006).

Picnet es una red formada por dispositivos móviles mediante tecnología Bluetooth. Es un derivado de WPAN. Consta de dos a siete dispositivos, la Picnet sigue una estructura maestro-esclavo donde el maestro es quien asegura la conexión a través de una solicitud enviada por el esclavo. Cuando el maestro establece una conexión, determina con qué frecuencia operará. Tiene un alcance máximo de 10 metros y se puede aumentar combinando múltiples piconets para formar una Scatternet, donde un nodo esclavo actúa como maestro proporcionando conexiones a múltiples esclavos (Madrid, 2006).

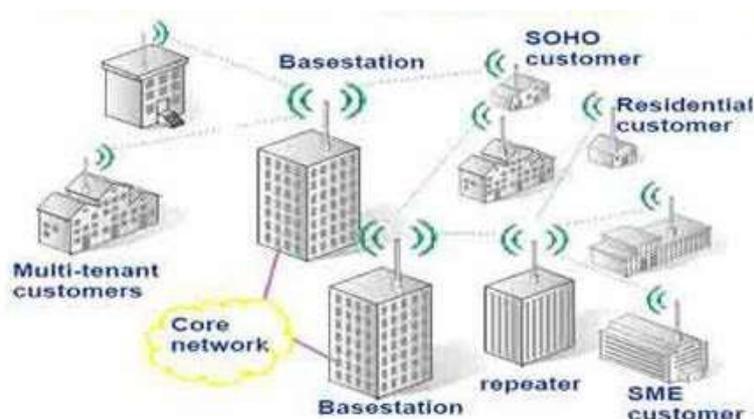
El alcance típico de este tipo de red es de unos pocos metros, hasta unos 10 metros. El objetivo de estas redes es comunicar cualquier dispositivo personal (ordenador, terminal móvil, PDA, etc.) con sus periféricos, así como permitir la comunicación directa a corta distancia aproximadamente entre estos dispositivos (Madrid, 2006).

#### **2.3.1.2. WLAN: red de área local inalámbrica**

Existen tecnologías basadas en Wi-Fi, un estándar de comunicación inalámbrica basado en el estándar IEEE 802.11. Puede demostrar mejoras de velocidad según los estándares de la empresa y alcanzar distancias de hasta 20 km. Utiliza un punto de acceso para distribuir equipos de comunicación inalámbricos y forma una red inalámbrica que conecta dispositivos móviles o tarjetas de red inalámbrica (Madrid, 2006).

#### **2.3.1.3. WMAN: red de área metropolitana inalámbrica**

Para las redes urbanas figura(9), existen tecnologías basadas en WiMAX (Global Interoperability for Microwave Access), es decir, interoperabilidad global para el acceso a microondas, un estándar de comunicación inalámbrica basado en el estándar IEEE 802.16. WiMAX es un protocolo similar a Wi-Fi, pero con mayor cobertura y ancho de banda. También podemos encontrar otros sistemas de comunicación como LMDS (Local Multipoint Distribution Service) (Madrid, 2006).



**Figura 9.** WMAN: Red de área metropolitana inalámbrica (UTP, 2022).

#### **2.3.1.4. WWAN: red de área amplia inalámbrica**

WWAN se diferencia de WLAN (Red de área local inalámbrica) en que utiliza tecnologías de red de comunicación celular móvil como WiMAX (aunque se aplica mejor a las redes WMAN), UMTS (Universal Mobile Telecommunication System, puente), GPRS, EDGE, CDMA2000, GSM, CDPD, Mobitex, HSPA y 3G para transmisión de datos. También incluye LMDS y Wi-Fi independiente para conectarse a Internet (Madrid, 2006).

### **2.3.2. Tipos de redes inalámbricas según su rango de frecuencia**

#### **2.3.2.1. Microondas terrestres**

Se basa en una antena parabólica, con aproximadamente tres metros de diámetro, tendrá una cobertura kilométrica, pero tienen el inconveniente de que el emisor y el receptor tienen que estar perfectamente alineados. Por este motivo, suelen utilizarse en enlaces punto a punto de corta distancia. En este caso, la atenuación por lluvia es mayor porque opera a mayor frecuencia. Las microondas cubren frecuencias de 1 a 300 GHz (ComputingNetwork, 2011).

#### **2.3.2.2. Antena de satélite**

Los enlaces que se establecen entre dos o más estaciones terrenas se denominan estaciones base. El satélite recibe una señal (llamada señal de enlace ascendente) en una banda, la amplifica y la retransmite en otra (enlace descendente). Cada satélite opera en bandas de frecuencia específicas. Limita las frecuencias de microondas, terrestre y satélite, mezclando un poco las ondas de radio de alta frecuencia e infrarrojas, por lo que puede haber interferencias con las comunicaciones en algunas frecuencias inalámbricas (ComputingNetwork, 2011).

#### **2.3.2.3. Infrarrojos**

El transmisor y el receptor están conectados para modular la luz infrarroja no coherente. Deben estar alineados directamente o con reflexión sobre una superficie. No pueden atravesar paredes. Rango infrarrojo de 300 GHz a 38 THz (ComputingNetwork, 2011).

### **2.3.3. Redes de sensores inalámbricos (WSN)**

Un sistema WSN (Wireless Sensor Network) de sensores inalámbricos es una gran cantidad de sensores distribuidos espacialmente, que usan para monitorear diferentes condiciones en diferentes ubicaciones, como temperatura, sonido, vibración, presión, movimiento y contaminantes. Es un dispositivo autónomo que consta de un microcontrolador, una fuente de alimentación (generalmente una batería), un transceptor de radio y elementos de detección. Debido a la duración limitada de la batería, el nodo se construye teniendo en cuenta el ahorro de energía y, por lo general, pasa mucho tiempo en modo de ahorro de energía. En lugar de tener una topología de red preprogramada, los nodos autoorganizan la red según las necesidades. Además, WSN tiene capacidades de autor reparación. En otras palabras, si un nodo falla, la red encuentra nuevas formas de reenviar paquetes de datos, incluso si los nodos individuales pierden rendimiento o se destruyen, toda la red permanece intacta. Aunque es un tema de investigación controvertido, esta visión bastante clásica de las WSN tiene pocas aplicaciones interesantes. Por ejemplo, algunos autores especializados en esta área apuntan a la detección de incendios forestales como una aplicación de WSN. Para que la definición de WSN se utilice más ampliamente en la industria, debe ser más amplia y menos estricta.

El uso industrial se desvía de la definición anterior en varios aspectos. Primero, y quizás lo más importante, todos los sensores son esenciales para las operaciones de la planta. Esto significa que, aunque la red global sigue funcionando, la pérdida de nodos es inaceptable. Un nodo fallido debe ser reemplazado. En segundo lugar, el tiempo es esencial. Los paquetes de datos en WSN estándar pueden tardar una cantidad infinita de tiempo desde el origen hasta el destino, pero las aplicaciones industriales a menudo requieren límites estrictos en el retraso máximo permitido.

Finalmente, a diferencia de las redes WSN estándar, las soluciones inalámbricas en la industria a menudo tienen una infraestructura cableada. Los datos se originan en el sensor, se propagan a través de la red a un

concentrador cableado y desde allí se transfieren al controlador, generalmente a través de un bus de alta velocidad. Además de la topología de red de malla WSN tradicional, existen dos topologías populares en la industria (Jan-Erik, Jan, Andreas, & Guntram, 2005) En las topologías de red en estrella actuales, los nodos inalámbricos se comunican con los dispositivos de puerta de enlace que conectan la red cableada. Una solución WSN nueva y popular es usar un dispositivo de enrutador (a menudo alimentado por un cable de la red eléctrica) que se comunica con la puerta de enlace. El sensor solo necesita establecer una comunicación punto a punto con el enrutador, lo que le permite seguir siendo simple y de bajo consumo al tiempo que mejora el alcance y la redundancia de la propia red.

#### **2.3.3.1. Ventajas del WSN**

La comunicación inalámbrica tiene muchas ventajas. Además de una mayor confiabilidad, la ventaja más común es la reducción de los costos de instalación. Los sitios de instalación suelen ser entornos hostiles con exigencias muy altas en cuanto al tipo y la calidad del cable. La eliminación de cables significa instalaciones más económicas, especialmente cuando se trata de modificaciones o actualizaciones de versiones anteriores, especialmente cuando es difícil planificar los cables adicionales necesarios en instalaciones ya congestionadas. Aunque la definición formal no es directamente aplicable en entornos industriales, WSN introduce nuevas tecnologías de conectividad que ayudan a reducir aún más el costo de instalación de sensores inalámbricos. La naturaleza ad-hoc de WSN hace que sea fácil de instalar y configurar. Esto no debe subestimarse cuando la red es de un tamaño considerable. Se requiere una configuración de red manual mínima para admitir la cobertura de sensores inalámbricos a nivel de planta. Además, la configuración de "conectar y producir" de la red garantiza que el mantenimiento o la identificación y resolución de fallas se puedan realizar utilizando redes de sensores temporales.

### **2.3.3.2. Aplicaciones y requisitos**

Los requisitos de la solución WSN siempre dependen en gran medida de la aplicación específica. A continuación, se consideran dos casos de uso específicos según (Jan-Erik, Jan, Andreas, & Guntram, 2005).

La fabricación discreta y monitorización de plantas, en ambos casos implican requisitos de energía bajos, pero las fuentes de energía reales varían (almacenamiento de energía en baterías, recolección de energía de fuentes ambientales, transferencia de energía inalámbrica como acoplamiento inductivo, etc.). En cualquier caso, el dispositivo no puede disipar una potencia media máxima de varios milivatios (mW).

La latencia del sistema es fundamental en la fabricación discreta, donde hay un límite estricto en la cantidad máxima de tiempo que el sistema puede esperar antes de que deje de funcionar. Este tiempo suele ser decenas de milisegundos. La latencia, por otro lado, es menos importante para el monitoreo de activos. Por supuesto, esto depende del activo que se esté monitoreando, pero es común que los tiempos de actualización sean del orden de minutos u horas.

La confiabilidad es el tercer parámetro interesante, el cual, dependiendo de su caso de uso, hay varias formas de aumentar las posibilidades de que su mensaje llegue a su destino. Una forma es aumentar la redundancia. Hay varias maneras de hacer esto. Los mensajes se pueden enviar de manera diferente (diversidad espacial), en diferentes frecuencias (diversidad de frecuencia), varias veces en la misma frecuencia (diversidad de tiempo) o con diferentes métodos de modulación (diversidad de esquema). Este último es un método complicado que se usa solo cuando los requisitos son muy estrictos y el costo no es un problema.

Los sectores de oficina y bienes de consumo son los principales impulsores de la tecnología inalámbrica actual debido a su alto volumen de aplicaciones que requieren una vida útil relativamente corta de los

dispositivos. Una estructura modular (tanto hardware como software) es fundamental ya que permite un mantenimiento eficiente de los dispositivos fabricados con componentes estándar disponibles en el mercado durante toda su vida útil.

### **2.3.3.3. Aspecto del sistema**

Con frecuencia se proporciona el protocolo de comunicación con objeto de utilizar los recursos disponibles dentro de los límites especificados y que ningún elemento esté energizado, si no es imprescindible. El trabajo se reduce a activar y desactivar unidades, como el sensor, la CPU y el transceptor, con la temporización apropiada. Se supone que un nodo necesita despertar del modo durmiente a intervalos regulares para transmitir el valor de su sensor, pero sólo si el nuevo valor tiene una diferencia mínima dada con el último valor. Una vez enviado el valor por el canal de radio, la unidad espera recibir un mensaje de confirmación que indica que el paquete ha sido recibido correctamente (Jan-Erik, Jan, Andreas, & Gun- tram, 2005).

## **2.4. Lenguaje de modelado unificado (UML)**

El lenguaje de modelado unificado (UML) es el lenguaje de modelado de sistemas de software más conocido y utilizado en la actualidad; aprobado por el Audience Management Group (OMG). Es un lenguaje gráfico para visualizar, especificar, construir y documentar un sistema. UML proporciona un estándar para describir un "plano" (modelo) de un sistema, incluidos aspectos conceptuales como procesos, funciones del sistema y aspectos específicos como expresiones de lenguaje de programación, esquema de base de datos y compuestos reciclados (Fowler & Sccott, 1999).

Es importante señalar que UML es un "lenguaje de modelado" para especificar o describir métodos o procedimientos. Se utiliza para definir un sistema, detallando los artefactos del sistema, la documentación y la construcción. Se puede aplicar al desarrollo de software de diversas maneras para respaldar una metodología de desarrollo de software (como Rational Unified Process o RUP) (Fowler & Sccott, 1999).

UML no se puede comparar con la programación estructurada, ya que UML significa lenguaje de modelado unificado, no es programación, solo analiza el hecho de uso en un requisito. Si bien la programación estructurada es una forma de programación orientada a objetos, la programación orientada a objetos es un complemento perfecto para UML, pero no es por eso que UML se usa solo para lenguajes orientados a objetos. UML tiene varios tipos de gráficos, que muestran diferentes aspectos de las entidades representadas (Stevens, Pooley, & Wesley, 2002).

### **2.4.1. Tipos de Diagramas**

#### **2.4.1.1. Estructurales**

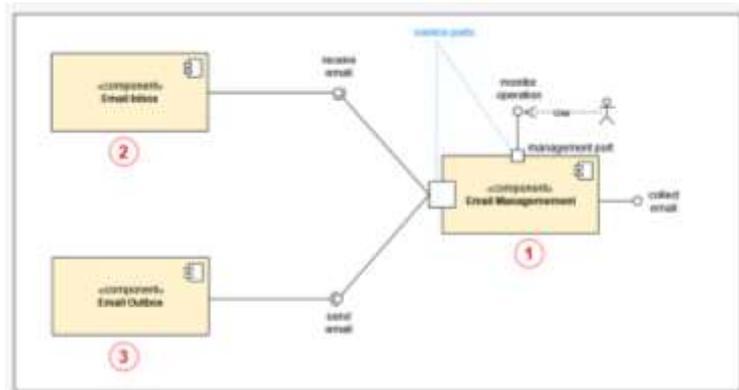
A continuación, los tipos de diagramas estructurales según (Stevens, Pooley, & Wesley, 2002):

- Diagrama de clase

Los diagramas de clases son, con mucho, el tipo de diagrama UML más utilizado. Es el bloque de construcción principal de cualquier solución orientada al objeto de estudio. Muestra las clases en un sistema, las propiedades y operaciones de cada clase y la relación entre cada clase. En la mayoría de las herramientas de modelado, una clase tiene tres partes, el nombre en la parte superior, las propiedades en el medio y las actividades o métodos en la parte inferior. En sistemas grandes con muchas clases relacionadas, las clases se agrupan para crear un diagrama de clases. Las diferentes relaciones entre clases están representadas por diferentes tipos de flechas.

- Diagrama de componentes

Un diagrama de componentes muestra las relaciones estructurales de los componentes de un sistema de software como se muestra en la figura 10. Se utilizan principalmente cuando se trabaja con sistemas complejos con muchos componentes. Los componentes se comunican entre sí mediante interfaces. Las interfaces están unidas mediante conectores.



**Figura 10.** Ejemplo de un Diagrama de componentes para un software de correo electrónico (IONOS, 2021).

- Diagramas de implementación

Muestran el hardware de su sistema y el software que contiene. Los diagramas de implementación son útiles cuando una solución de software se implementa en varias computadoras, cada una con una configuración específica y única.

- Diagrama de objetos

Un diagrama de objetos, a veces llamado diagrama de instancias, es muy similar a un diagrama de clases. Al igual que los diagramas de clases, también muestran relaciones entre objetos, pero usan ejemplos del mundo real. Se usan para mostrar cómo se verá el sistema en un momento dado. Dado que los datos están disponibles en los objetos, a menudo se utilizan para explicar relaciones complejas entre objetos.

- Diagrama de paquete

Es un lenguaje de modelado unificado que representa las dependencias entre los paquetes que componen un modelo. En otras palabras, muestra cómo se divide un sistema en grupos lógicos y las dependencias entre estos grupos. Dado que a menudo se considera que un

paquete es un directorio, los diagramas de paquete proporcionan un análisis de la jerarquía lógica del sistema.

#### **2.4.1.2. Diagramas de comportamiento**

A continuación, los tipos de diagramas comportamiento según (Stevens, Pooley, & Wesley, 2002):

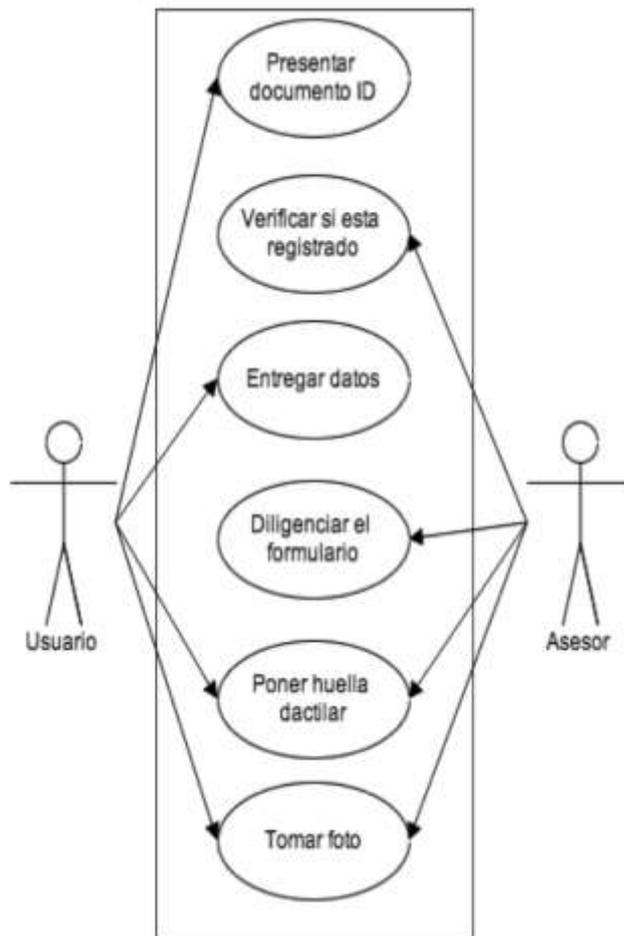
- Diagrama de actividades

Los diagramas de actividades representan gráficamente los flujos de trabajo. Se pueden utilizar para describir los procesos operativos o de negocio de cualquier componente del sistema. Los diagramas de actividades se utilizan a veces como una alternativa a los diagramas de máquinas de estado.

- Diagramas de casos de uso

Como el tipo más famoso de diagrama UML, un diagrama de casos de uso proporciona una descripción general de los factores involucrados en el sistema, las diferentes funciones que estos factores necesitan y cómo interactúan. Este es un gran punto de partida para cualquier discusión de proyecto, ya que las partes interesadas clave y los procesos del sistema se pueden identificar fácilmente.

Un diagrama de caso de uso muestra la funcionalidad del sistema bajo consideración desde la perspectiva de los usuarios (llamados "actores" en UML). Este actor no tiene que ser necesariamente un usuario humano, pero se puede asignar un rol a un sistema externo que accede a otro sistema, tal como se ve en la figura 11. De esta forma, los diagramas de casos de uso muestran las relaciones entre los actores y los requisitos o expectativas del sistema sin representar u ordenar lógicamente las acciones a realizar.



**Figura 11.** Ejemplo de diagrama de casos de uso sistema de registro en el RUNT (Trujillo, 2022).

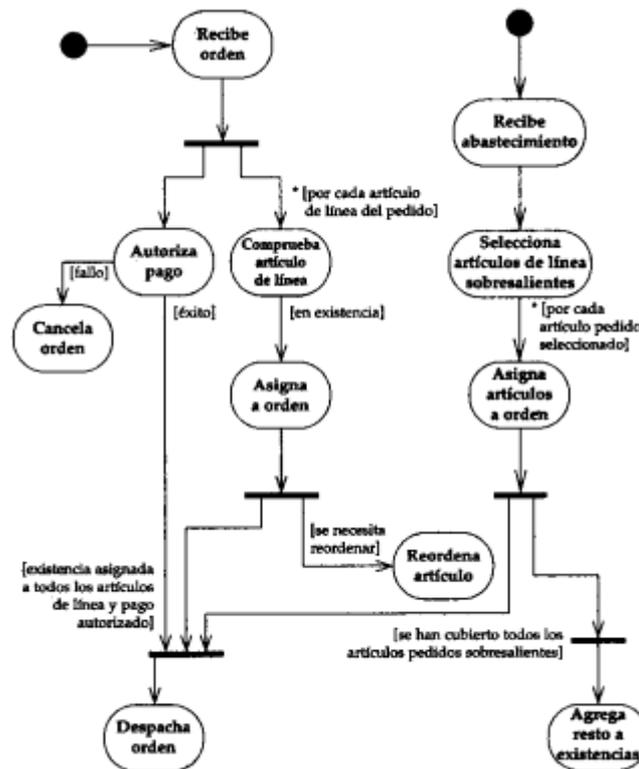
En la práctica, esta estructura es suficiente para presentar claramente las funciones y/o propósitos más importantes del sistema. Por lo tanto, al desarrollar software o planificar un nuevo proceso empresarial, la creación de un diagrama de casos de uso suele ser uno de los primeros pasos (operador o cliente) logran sus objetivos esencialmente independientemente de la viabilidad técnica.

La estructura de los diagramas de casos de uso:

- Actor: Ya sea una persona o un sistema
- Sistema: El sistema al que se refiere el caso de uso.
- Caso de uso: aquí se describe brevemente el proceso.

- Diagrama de estado de la máquina

Los diagramas de máquina de estado son similares a los diagramas de actividad, aunque las anotaciones y el uso varían ligeramente. A veces se denominan gráficos de estado o gráficos de estado. Este es una especie de guía que se utiliza para identificar qué sucede cuando se ejecuta un estado en particular. Este gráfico también ayuda a identificar diferentes tipos de condiciones y cómo cambian (por ejemplo, en una impresora multifunción),(figura12). En general, los esquemas son ideales para representar objetos que interactúan en un sistema reactivo. Por otro lado, ayuda a explicar la fase de negocio, y el área de TI se enfoca en el diseño de sistemas embebidos caracterizados por señales automatizadas.



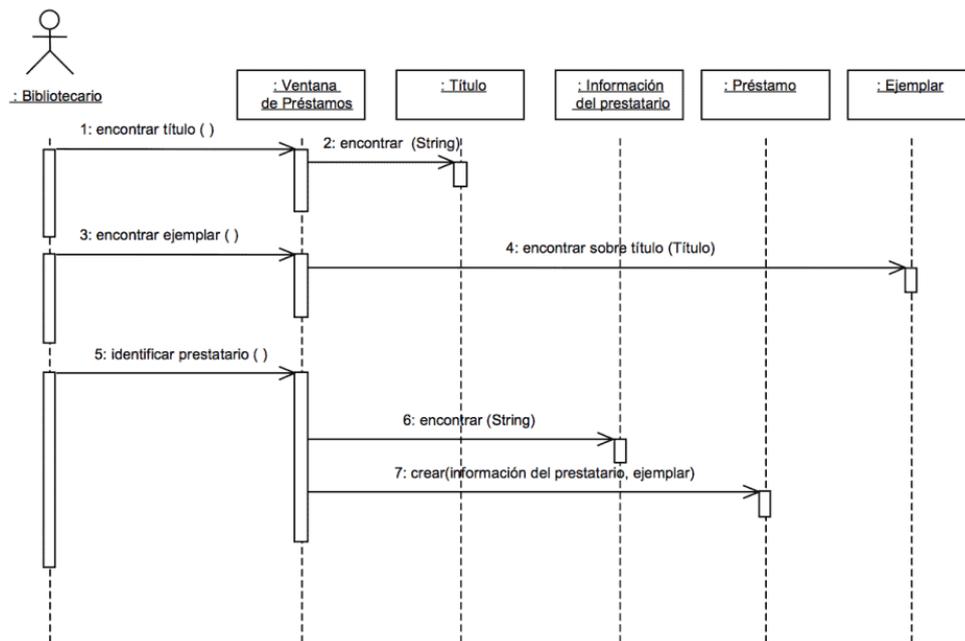
**Figura 12.** Diagrama de estados recibe orden y recibe existencia (Trujillo, 2022).

- Diagrama interactivo

Los diagramas interactivos incluyen diferentes tipos de diagramas, como lo son el secuencial, el comunicativo, el de tiempo y el de interacción global.

- Diagrama de secuencia

Un diagrama de secuencia muestra la interacción de un conjunto de objetos en una aplicación a lo largo del tiempo, modelada por caso de uso. Los diagramas de secuencia se pueden describir informalmente como "diagramas de clases en movimiento" como se muestra en la figura 13, por lo que agregar un diagrama de clases a menudo tiene sentido. Por lo tanto, ambos deben estar relacionados (misma clase, método, atributo, etc.). Un diagrama de casos de uso le permite modelar la vista comercial de un escenario, mientras que un diagrama de secuencia proporciona los detalles de implementación de un escenario, como los objetos y clases utilizados para implementar el escenario y los mensajes intercambiados entre objetos.



**Figura 13.** Diagrama de estados biblioteca (Trujillo, 2022).

Las descripciones de casos de uso generalmente se examinan para determinar los objetos necesarios para implementar el escenario. Este diagrama muestra los objetos involucrados en un escenario como líneas

discontinuas verticales y los mensajes que se transmiten entre los objetos como flechas horizontales.

- Diagrama de comunicación

El diagrama de comunicación, también se llama diagrama de colaboración. Es similar al diagrama de secuencia, pero el foco está en los mensajes que se pasan entre objetos.

- Diagrama de tiempo

Un gráfico de tiempo es muy similar a un gráfico de secuencia. Representan el comportamiento de los objetos durante un cierto período de tiempo. Si es solo un objeto, los diagramas son simples, pero si hay varios objetos involucrados, también se pueden usar para mostrar las interacciones de los objetos durante ese período de tiempo.

- Diagrama de interacción global

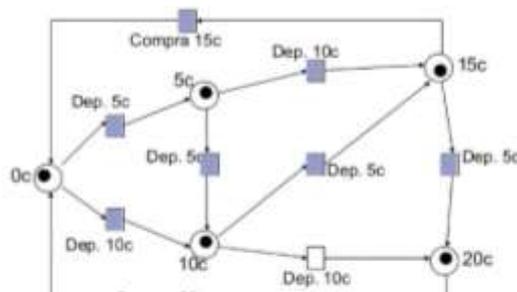
El diagrama de interacción global es un diagrama de acción, y más específicamente uno de los cuatro diagramas de interacción. Presenta una perspectiva particular sobre los aspectos dinámicos del sistema modelado. Aunque el diagrama de interacción global es una representación gráfica de interacciones, difiere significativamente de otros dos diagramas de interacción, el diagrama de secuencia y el diagrama de comunicación. De hecho, algunos de los elementos gráficos del diagrama global de interacciones provienen de otro diagrama de comportamiento para actividades de modelado, el diagrama de actividad. Los modelos de interacción pueden ser muy extensos en sistemas complejos. Cuando la cantidad de líneas de vida involucradas y la cantidad de mensajes intercambiados supere cierto nivel, "modularice" las interacciones, siguiendo los principios universales del diseño de sistemas y dividiéndolas en partes más pequeñas y manejables. Esto también se puede visualizar.

Un gráfico de interacción global o global es muy similar a un gráfico de actividad. Mientras que un diagrama de actividad muestra una secuencia de procesos, un diagrama de interacción muestra una secuencia de diagramas de interacción. En pocas palabras, se les puede llamar un conjunto de diagramas de interacción y el orden en que ocurren. Como se mencionó anteriormente, hay siete tipos de diagramas de interacción, por lo que cualquiera de ellos puede ser un nodo en el diagrama general de interacción.

## 2.5. Redes Petri

Una red de Petri es una representación matemática o gráfica de un sistema de eventos discretos en la que se puede describir la topología de un sistema distribuido, paralelo o concurrente. Carl Adam Petri identificó las redes esenciales de Petri en la década de 1960. Son generalizaciones de la teoría del automatismo de datos que permiten expresar un sistema en términos de eventos simultáneos. La red de Petri está formada por cuadrados, transiciones, arcos dirigidos y marcadores o fichas que ocupan posiciones dentro de los cuadrados. Las reglas son las siguientes: Los arcos conectan un lugar a una transición, así como una transición a un lugar. No puede haber arcos entre ubicaciones o entre transiciones. Los lugares contienen un número limitado o infinito de marcas, lo que significa que usan puntos desde la posición inicial y generan puntos en la posición final. La transición se activa si tiene acentos en todas sus posiciones de entrada (Storrie, 2000).

En su forma más básica, los trazos que fluyen a través de la malla de Petri son idénticos como se muestra en la figura 14. Se puede identificar una variante de la red de Petri en la que los marcadores pueden tener color (la información que los distingue), tiempo de activación y jerarquía en la red. La mayoría de los problemas de las rejillas de Petri tienen solución, como la limitación y la cobertura. Para resolverlos se utiliza un árbol de Karp-Miller. Se sabe que el problema del rango tiene solución, al menos en tiempo exponencial (Al-Bakry, 2011).



**Figura 14.** Ejemplo de red Petri de máquina expendedora

(Martinez, 2014).

**2.5.1. Interpretación típica de estados y transición**

Plaza de entrada	Transición	Plaza de salida
Pre-condición	Evento	Post- condiciones
Datos de entrada	Paso de computación	Datos de salida
Recursos necesarios	Tarea	Recursos liberados
Buffer	Procesador	Buffer
Condiciones	Clausula	Conclusiones

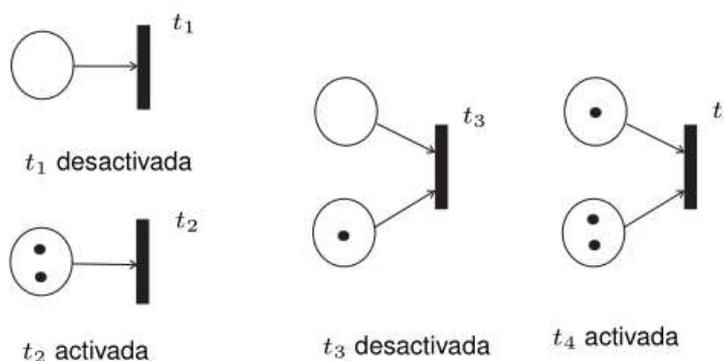
**Tabla 1.** Interpretación típica de estados y transición (Al-Bakry, 2011).

**2.5.2. Cambio de estado**

Un cambio de estado está indicado por el movimiento (evolución) del marcado de un cuadrado a otro. Esta expansión se desencadena por uno o más activadores de transición activados. Un disparador representa la ocurrencia de un evento significativo en un contexto. El inicio de una transición está sujeto a las condiciones de entrada en la transición en la que se ejecuta, es decir, hay suficientes puntos disponibles en las franjas horarias antes de la transición (Al-Bakry, 2011).

**2.5.3. Semántica**

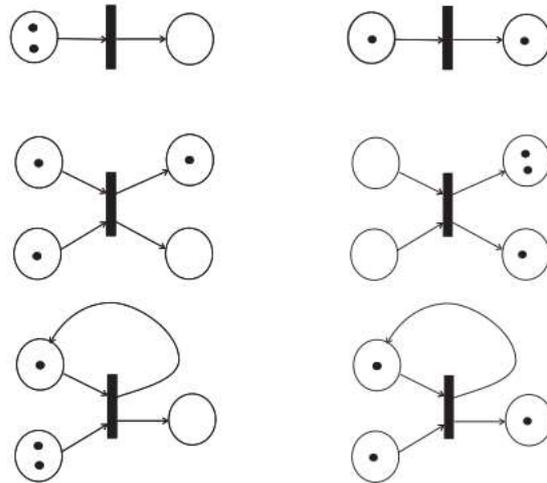
Una transición está activada siempre y cuando las plazas que le están conectadas a través de arcos de incidencia tienen por lo menos una marca.



$$t_j \text{ activada} \implies \forall p_i \in I(t_j), m(p_i) \geq 1$$

**Figura 15.** Activación y desactivación (Moreno, 2001).

Con el disparo de las transiciones activadas el marcado evoluciona. Para redes con capacidad unitaria en los arcos, se retira una marca de las plazas inmediatamente antecedentes y se suma una marca a cada una de las consecuentes (figura16).

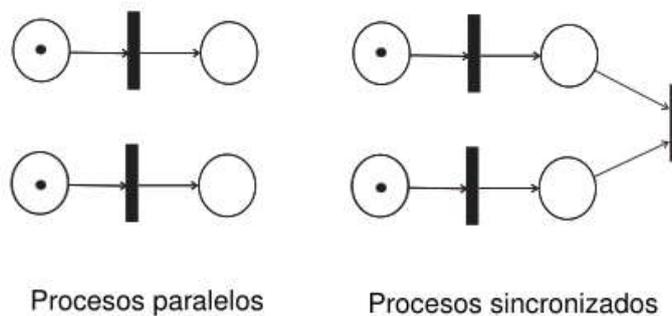


**Figura 16.** Transiciones (Moreno, 2001).

#### 2.5.4. Estructuras

##### 2.5.4.1. Sincronizadas

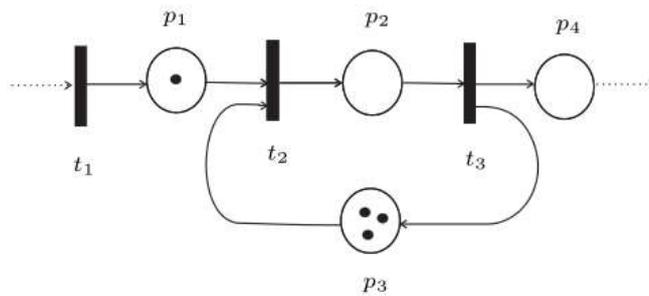
En la (figura 17) se muestra la ocurrencia de dos procesos en paralelo, evolucionando en concurrencia. En el segundo caso los procesos están sincronizados ya que para proseguir es necesario que los dos se hayan concluido.



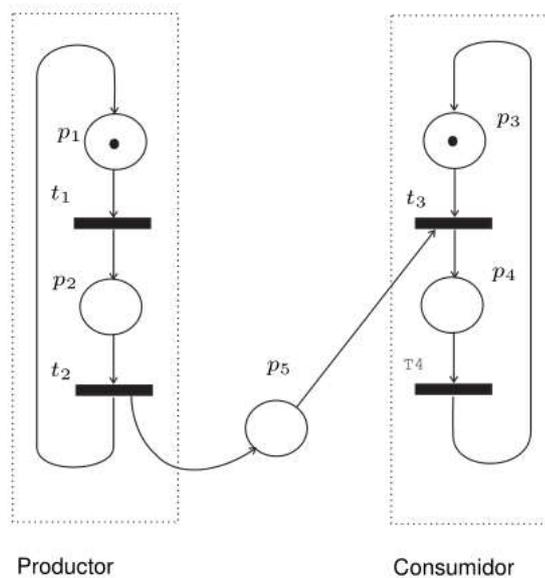
**Figura 17.** Estructura sincronizada (Moreno, 2001).

##### 2.5.4.2. Buffer limitado

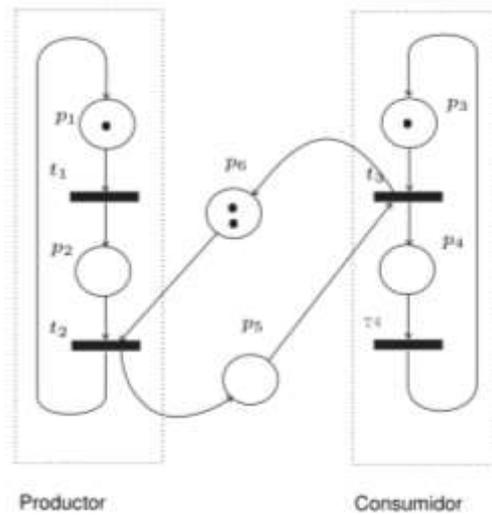
En la figura 18 se representa un buffer con capacidad limitada (3). Plaza  $p_3$  representa con sus tres marcas, la capacidad total del buffer. La marca en  $p_1$  representa un recurso a guardar en el buffer. Si  $t_2$  se dispara tendremos:  $m(p_1) = 0, m(p_2) = 1, m(p_3) = 2$  representando ahora que hay todavía dos plazas disponibles en el buffer. Si se introduce una marca más a través de  $p_1$  y se dispara de nuevo  $t_2$  tendremos:  $m(p_1) = 0, m(p_2) = 2, m(p_3) = 1$ . Si se insiste con una marca más a través de  $p_1$  y se dispara  $t_2$  llegando finalmente a:  $m(p_1) = 0, m(p_2) = 3, m(p_3) = 0$ . A partir de este momento, ya no se pueden ingresar más objetos en el buffer pues la transición  $t_2$  estará inhabilitada. Para que se pueda continuar se tendrá que disparar la transición  $t_3$  retirando un objeto del buffer y activando de nuevo la transición  $t_2$ .



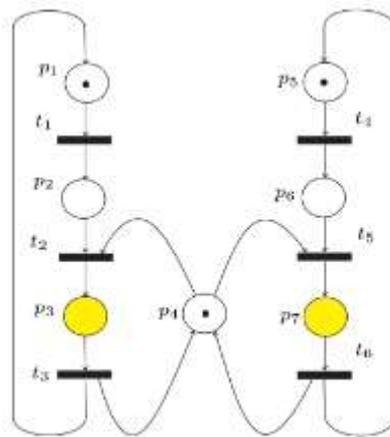
**Figura 18.** Buffer limitado (Moreno, 2001)



**Figura 19.** Producto-consumidor ilimitado (Moreno, 2001).

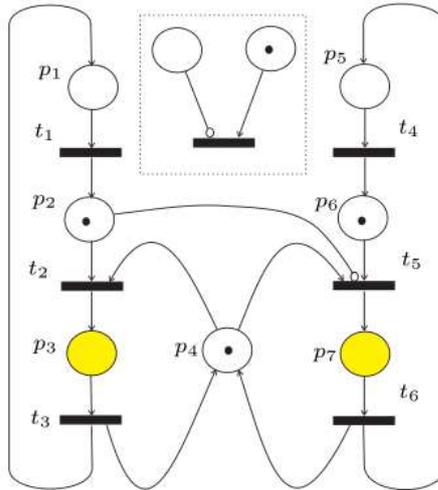


**Figura 20.** Producto-consumidor limitado (Moreno, 2001)



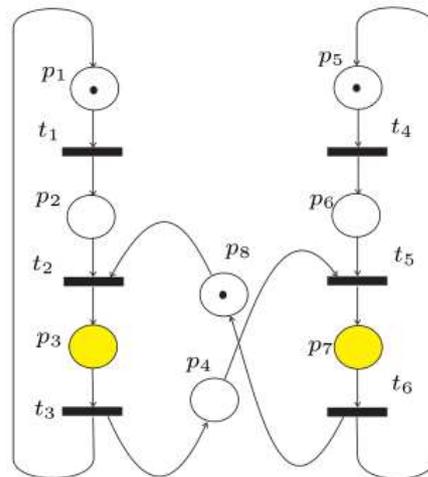
**Figura 21.** Recursos compartidos (Moreno, 2001)

Los arcos inhibidores pueden utilizarse apenas entre plazas y transiciones, y en esta dirección. La transición en el recuadro, está activa y puede dispararse ya que el arco inhibidor resulta afirmativo en la ausencia de marca en la plaza antecedente. En la simultaneidad de disparo en el caso de la red de recursos compartidos, la transición  $t_2$  es la que puede dispararse con éxito.



**Figura 22.** Recursos compartidos - arcos inhibidores (Moreno, 2001).

Caso se necesite alternancia en la utilización de un recurso compartido se puede utilizar la estructura observada en la figura. Empezando con el disparo de  $t_2$  cada proceso tendrá acceso alternado al recurso compartido.



**Figura 23.** Recursos compartidos – alternancia (Moreno, 2001)

### 2.5.5. Propiedades básicas

Las propiedades básicas de una red Petri según (Moreno, 2001) son:

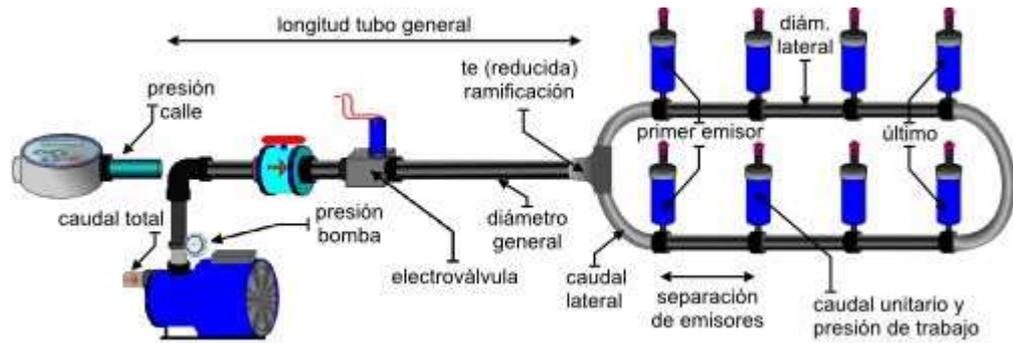
- Alcanzabilidad: Se puede alcanzar cualquier estado partiendo de otro cualquiera, a través de una secuencia de disparos adecuada.

- Limitación: Una RdP se dice k-limitada o sencillamente limitada si el número de marcas en cada plaza no supera un número finito k para cualquier marcado alcanzado a partir de  $m_0$  (marcado inicial).
- Vivacidad: Una transición t es viva para un marcado inicial  $m_0$  si y solo si existe una secuencia de disparos a partir de cualquier marcado  $m_i$  sucesor de  $m_0$  que comprenda a t. Si una RdP es viva el sistema no puede bloquearse en su evolución puesto que todas transiciones pueden llegar a dispararse. Ya la recíproca no es verdadera. Puede ser que una RdP marcada no viva no se bloquee. Esta situación caracteriza las RdP parcialmente vivas.
- Conflictividad: Se dice que en una RdP existe conflicto estructural cuando un lugar posee más de una transición de salida. La situación de conflicto es inaceptable para cualquier descripción de un sistema, dado que será ambigua.

## 2.6. Sistemas de riego

El sistema de riego es un conjunto de estructuras, que ayuda a cultivar una determinada superficie con el aporte de agua que necesita el cultivo. Un sistema de riego está formado por un conjunto de componentes, aunque un sistema de riego no necesariamente está formado por todos ellos, ya que el conjunto de componentes dependerá de si es un sistema de riego es superficial o no (Gurovich, 1985).

El riego automático es un sistema de distribución controlada de agua a las plantas a través de aspersores o sistemas de goteo como se muestra en la figura 24. Este sistema le permite distribuir agua dónde, cuánto, con qué frecuencia y cuándo lo desea. Los sistemas de riego automático son una de las formas más convenientes y productivas de regar, ya que le ahorran tiempo y mantienen sus plantas y césped verdes y saludables (Ramos, 2017).



**Figura 24.** Ejemplo de sistema de riego automático (Ramos, 2017)

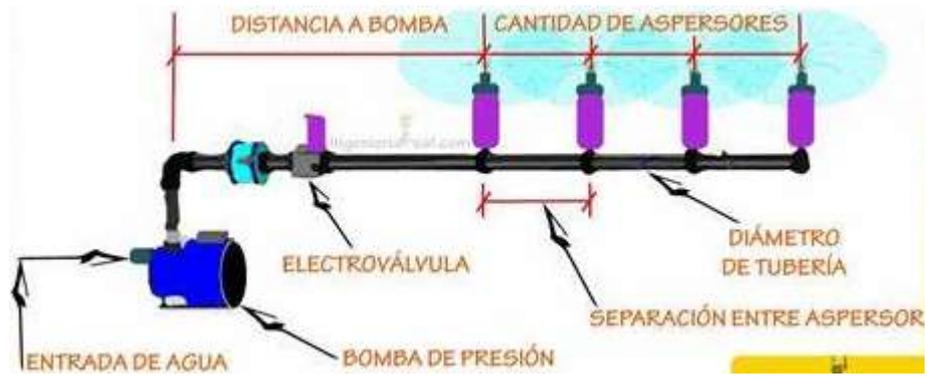
### 2.6.1. Tipos de sistemas de riego

Existen muchas soluciones para distribuir agua a plantas, plantas o árboles y entre estas suelen existir varias variaciones que se pueden configurar para lograr la cantidad de agua de riego deseada. Siendo los más importantes según (Canales & Martínez, 2020).

#### 2.6.1.1. \_Aspersión

Se basa en rociar agua de un punto a otro, consiguiendo así humedecer una zona como se muestra en la figura 26. A menudo se estudia la zona a regar y gracias a la combinación de muchas boquillas es posible regar para evitar zonas muertas. La fuerza con la que este tipo de riego expulsa el agua se mide en presión por centímetro cuadrado:

- Baja presión: tiene un alcance de unos 12 metros y trabaja hasta 1,5 kg por centímetro cuadrado.
- Presión media: en este caso la presión está entre 1,5 y 4,5. Esto aumenta la distancia en 25 metros.
- Alta presión: este tipo de aspersor puede alcanzar hasta 60 metros; para ello es necesario crear una presión superior a 4,5 kg por centímetro cuadrado (figura 25).

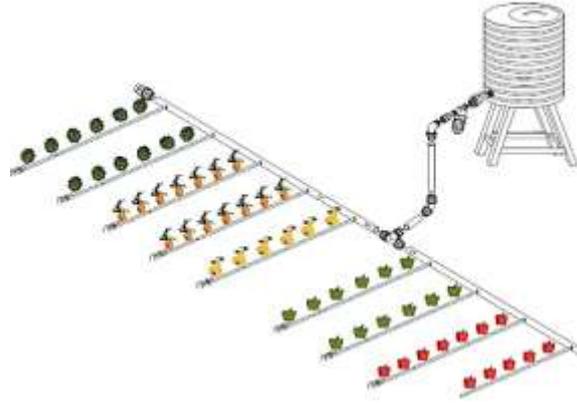


**Figura 25.** Ejemplo de esquema de sistema de riego por aspersión (Ramos, 2017).

### 2.6.1.2. Goteo

También se conoce como riego gota a gota, este tipo de riego se utiliza donde el agua escasea y ayuda a optimizar este recurso de forma óptima. La idea de la operación es distribuir agua a través de goteros, que humedecerán la zona radicular de cada planta. Después de la invención del aspersor en 1930, el desarrollo del sistema de riego por goteo se consideró el siguiente paso importante en la agricultura. Por lo general, hay dos formas de instalar este sistema de distribución de agua. En un lateral dispone de boquilla de riego por goteo para repartir por toda la zona a regar, luego en esta tubería se inserta un gotero, que se encargará de hacer entrar el agua de manera muy controlada.

Por otro lado, se pueden comprar pipas que ya tengan goteros integrados en la propia pipa, esto significa que será mucho más fiable que otros aspersores, ya que no es necesario insertar el gotero en la tubería. Además, las puntas de goteo instaladas están perfectamente integradas, evitando obstrucciones al drenar las impurezas y proporcionando diferentes caudales. Los caudales se miden en litros entregados por hora y hay varios rangos disponibles (las cifras de la siguiente lista se expresan en litros por hora): 0,5; 0,8; 1; 1,5; 2; 3; 4; 8.



**Figura 26.** Ejemplo de sistema de riego por goteo (Ramos, 2017)

## **CAPITULO 3: DISEÑO DEL SISTEMA**

### **3.1. Consideraciones generales de diseño**

Esta sección del estudio de los sistemas de riego automatizados basados en sistemas con microcontroladores, tiene como objetivo describir el diseño de la red propuesta, analizar sus funciones y principales características, y proporcionar una visión detallada del comportamiento de la arquitectura del sistema.

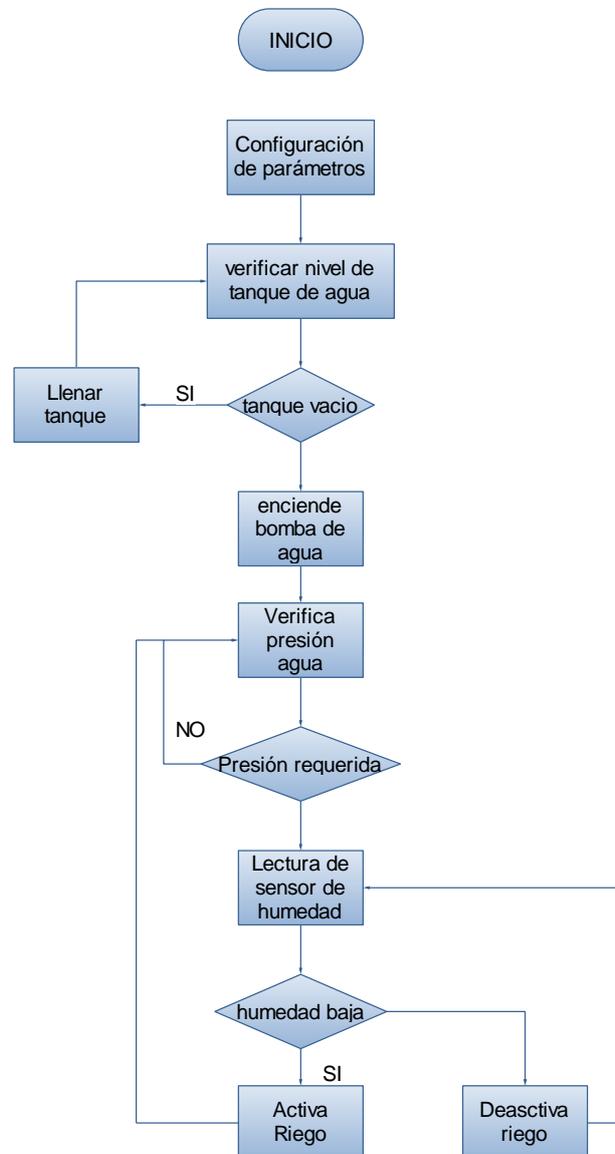
#### **3.1.1. Descripción del sistema**

El sistema de control de riego estará dentro de una caseta que se situará dentro de la finca como se describe en el diagrama de la figura 27, donde estará el controlador principal, basado en una tarjeta esp32 protegido en una caja hermética, colocando dentro de la misma, tanto la tarjeta controladora como demás elementos de control. El depósito de agua que se ubicara en una posición estratégica según los requerimientos de riego y la topología del terreno.

Para la alimentación del sistema de riego, en la finca agrícola, se dispondrá de una toma de corriente alterna en todo momento, la cual se utilizará para conectar la fuente de alimentación de corriente continua para alimentar la bomba, la tarjeta Arduino y la bomba de llenado del depósito.

Se utiliza una bomba weg para el sistema de riego. Es una bomba trifásica que es la ideal para el riego con una potencia de 40hp. Esta bomba proporciona el caudal y la presión necesarios para el correcto funcionamiento de la tubería de riego. En este caso, utilizan 120 m de tubería de riego de 6mx4in. Se pueden usar otros tipos de motores, como bombas de bifásica o monofásica, todo siempre dependerá de lo que se requiera regar y de su topología, siempre que cumplan con las especificaciones requeridas.

El sensor de humedad se colocará cerca de la zona donde el sistema de riego actúa, es decir cerca de los cultivos que requieren el riego de este sistema. A su vez, según lo que se tenga sembrado, se deberá enterrar más o menos el sensor en el terreno para que realice correctamente las mediciones. El sensor se colocará de manera vertical. A la hora de diseñar el programa, deben añadirse una serie de variables, que se declaran al principio del programa y nos permiten ajustar tanto las alturas máximas y mínimas del tanque como la humedad mínima, a partir de la cual iniciará a funcionar, y la humedad máxima, a partir de la cual informará de que el suelo tiene suficiente humedad.



**Figura 27.** Diagrama de flujo.

## 3.2. Características del sistema

El sistema estará constituido por los siguientes componentes:

### 3.2.1. Arduino Leonardo

Arduino tiene varias placas (figura 28), para satisfacer diferentes necesidades. Una de las placas de desarrollo más conocidas, junto con la Arduino UNO, es la Arduino Leonardo. Esta placa con microcontrolador programable tiene una de las características más potentes de la línea de placas si se compara con alguna de sus hermanas.

Por supuesto, esta placa oficial de la Arduino Foundation es compatible con una gran cantidad de componentes electrónicos, su selección viene dada por su funcionalidad y su bajo costo.



**Figura 28.** Arduino Leonardo (CC, 2018)

### 3.2.2. Arduino ESP32

ESP32 está diseñado para aplicaciones móviles, electrónica portátil e Internet de las cosas (IoT) como se muestra en la figura 29. Cuenta con todas las características de vanguardia de los chips de baja potencia, incluida la compactación de reloj de grano fino, múltiples modos de potencia y escalado dinámico de potencia. Por ejemplo, en un escenario de aplicación de concentrador de sensores de IoT de baja potencia, ESP32 se despierta periódicamente y solo cuando se detecta una condición especificada. El ciclo

de bajo trabajo se utiliza para minimizar la cantidad de energía que gasta el chip.



**Figura 29.** Arduino ESP32 (Hoddie & Preder, 2020)

### 3.2.3. Sensor de humedad

El sensor utiliza las dos sondas que pasan corriente a través del suelo, para luego leer la resistencia que se produce la humedad de la tierra para obtener el nivel de humedad como se muestra en la figura 30. Más agua hace que la conducción eléctrica del suelo sea más fácilmente, y el suelo seco es mal conductor de la electricidad.

Hay que aclarar que este sensor es de bajo poder y que solo detecta si hay humedad, si queremos saber el porcentaje de humedad del suelo este sensor no tiene la capacidad para dicha proeza.



**Figura 30.** Sensor de humedad Arduino (Aldea, 2016).

### 3.2.4. Driver I2C

La encargada de transmitir información acerca del proceso a la pantalla LCD.



Figura 31. Módulo I2C (Gallardo, 2014)

### 3.2.5. Pantalla LCD 4x20

Donde se observarán las condiciones del sistema, proporcionado por el Arduino Leonardo.



Figura 32. Pantalla Lcd 4x20 (Gallardo, 2014).

### 3.2.6. Relés

Encargado de activar la bomba dispensadora de agua hacia el huerto



**Figura 33.** Relé (Sangoquiza, 2015).

### 3.2.7. Bomba de agua

En cuanto a la bomba a utilizar. Una bomba centrífuga es aquella máquina, también denominada bomba rotodinámica, cuyo objetivo es convertir la energía en velocidad y posteriormente en energía a presión. Es decir, transforman la energía mecánica en energía hidráulica. De esta manera, puede mover el mayor volumen de líquido posible. Con una carcasa de hierro fundido, construcción flexible, patas sólidas y de una sola pieza y niveles de ruido y temperatura de funcionamiento reducidos, los motores de alto voltaje W22 se adaptan perfectamente a las más diversas aplicaciones industriales. El porqué de el uso de esta bomba centrífuga y su capacidad de 15 caballos de fuerza. Es por el terreno, la altura que debemos alcanzar es de 94 metros aproximados de altura según el terreno. Y con una presión máxima de 9 Bares que equivalen a 130.5 libras por pulgada cuadrada.

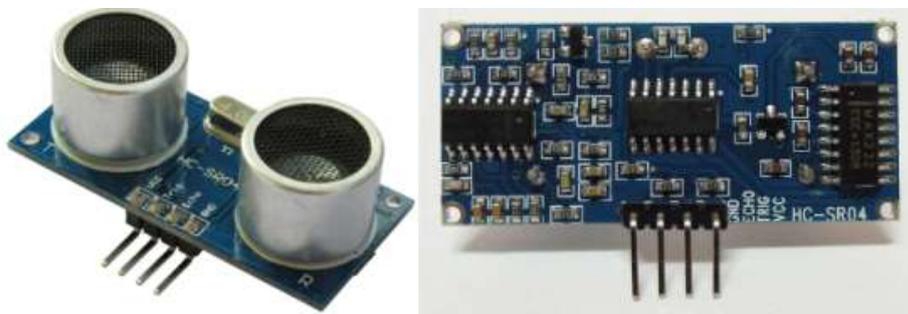


**Figura 34.** Bomba de agua

**Tabla 2.** Características de bomba weg

Resumen de las características técnicas			
<b>Norma</b>	Nema Mg-1	<b>Potencia</b>	15hp
<b>Frecuencia</b>	60hz	<b>Fijación</b>	Con Pies
<b>Tensión</b>	380-400-415v	<b>Brida</b>	Sin
<b>Numero de polos</b>	2	<b>Forma constructiva</b>	F-1
<b>Grado de potencia</b>	IP55	<b>Caja de conexión</b>	Lado Izquierdo
<b>Rotación síncrona</b>	3000rpm	<b>Refrigeración</b>	IC411-TEFC

### 3.2.8. Sensor ultrasónico HC-SR04



**Figura 35.** Sensor de ultrasónico HC-SR04 (Aldea, 2016).

El HC-SR04 es un sensor ultrasónico de bajo costo que puede detectar no solo si el objeto está presente, sino también qué tan lejos está. El sensor ultrasónico de distancia HC-SR04 puede medir la distancia en función de la diferencia de tiempo entre la transmisión y la recepción de una serie de pulsos transmitidos y detectados por el módulo. El sensor puede medir con precisión distancias de 2 cm a 400 cm de forma no invasiva o sin contacto. Con el sensor ultrasónico, puede controlar la altura del agua en el tanque con mayor precisión, y no necesita cambiar el programa Arduino para mover el sensor cada vez, por lo que puede ajustar los valores máximos y mínimos del nivel. Debido a esta serie de ventajas, se decidió adoptar este sensor ultrasónico para el proyecto. Lo único que se debe tener en cuenta al instalar el sensor es proteger el sensor de la lluvia y la humedad. Si está unido al tambor y los orificios por los que pasan los cables y el propio sensor están bien tapados, es suficiente.

<b>Tensión de trabajo</b>	DC 5V
<b>Corriente de trabajo</b>	15mA
<b>Frecuencia de trabajo</b>	40hz
<b>Detección MAX</b>	4m
<b>Detección mínima</b>	2cm
<b>Angulo de medición</b>	<15°
<b>Resolución</b>	La precisión puede variar entre 3mm o 0.3cm
<b>Dimensiones</b>	45mm x 20mm x 15mm

**Tabla 3.** Características del sensor ultrasónico

### **3.3. Funciones del sistema**

En este apartado analizaremos las diferentes funciones que cumple cada uno de los componentes que cumplen una función importante dentro de nuestro sistema de riego, y así entender de mejor manera el funcionamiento y el control de este sistema.

#### **3.3.1. Funciones principales**

##### **3.3.1.1. Control de sistema de presión de agua**

Los sistemas de control de presión llevan consigo una serie de rutinas en función de parámetros hidráulicos. Para controlar el riego, las funciones que se tienen que dar se integran en los denominados algoritmos de control. Las condiciones presentes en esta investigación son que el sistema de presión de agua esperara 60 minutos para poder pedir la comprobación de humedad al controlador si esta es la por debajo del nivel (700) se pedirá comprobación a través sensor ultrasónico para verificar que el nivel de agua sea el indicado y posteriormente cuando todo esté dentro de los parámetros la bomba generara presión que se dispensara por 30 minutos.

##### **3.3.1.2. Control de nivel del tanque**

El encargado de verificar el nivel del tanque es un sensor HC-SR04 el cual, una vez comprobada la humedad necesaria para el riego, se comunicará

con el controlador para que este active o no el relé de la bomba dependiendo si el nivel del agua contenido es suficiente para durar los 30 min.

Un sensor de nivel de líquido controla la altura mínima y máxima del depósito y el enciende y apaga la bomba de llenado según sea necesario. Después de analizar varias opciones, se decidió utilizar un sensor ultrasónico no solo porque facilitaría la programación, sino que también proporcionaría todos los datos que necesitábamos sobre el tanque de agua y el en tiempo real. El sensor debe calibrarse dentro del tanque en el que se utilizará y los valores mínimo y máximo se ajustarán según sea necesario. Dado que la medición del nivel de agua en el tanque se realiza mediante el ultrasonido, se calcula la distancia a la que se encuentra el agua del sensor. Por lo tanto, al medir por primera vez a alturas diferentes, conocemos la altura del agua en cada instante. De esta manera se puede decidir llenar el tanque con agua cuando lo necesites y parar cuando llegues a algún nivel.

#### **3.3.1.3. Riego automatizado**

En el sistema de riego automatizado, se tiene que el control de riego, el cual se base en el tiempo estimado para la apertura y cierre de las electroválvulas donde el tiempo para este proyecto es 30 minutos de apertura y 60 minutos de cierre, que a su vez está conectado al sistema de control de humedad el cual determinara al paso del tiempo 60 minutos si es necesario activar la bomba. Controlar el funcionamiento hidráulico de la instalación a través de sensores de presión y flujo que detiene el riego cuando registran valores superiores e inferiores al rango fijado, como también, se deben registrar parámetros meteorológicos como: temperatura, humedad del aire, insolación, viento, tensión del agua en el suelo, para mejorar la lectura de los sensores.

#### **3.3.1.4. Seguimiento de humedad**

Este sistema de control está compuesto por el sensor de humedad que es que manda la lectura al controlador Arduino Leonardo, este al xbee y las pantallas LCD 4x20 en donde se mostraran los indicadores de húmedas.

### **3.3.1.5. Supervisión del sistema de riego**

Los datos proporcionados por el sensor de humedad y el ultrasónico, será controlados directamente por el Arduino Leonardo, dada la programación utilizada, esta información se mostrará en la pantalla LCD así como también será enviada a través del controlador ESP32 mediante una conexión WIFI, la cual podrá ser monitoreada mediante una computadora, dejando registro de sus actividades.

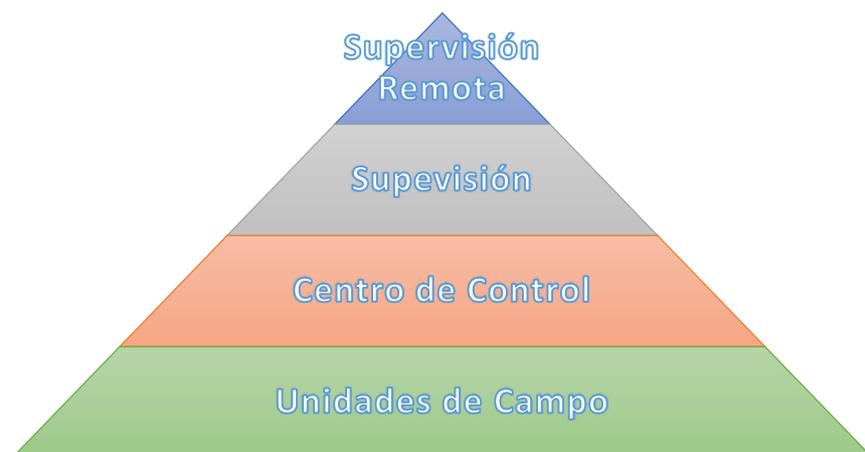
## **3.4. Arquitectura general del sistema**

A Través de la arquitectura de control se establecen los niveles requeridos según la complejidad del sistema y se define el tipo de arquitectura requerido en función de las tecnologías, el número de elementos y los requerimientos del sistema. Para la arquitectura de control del sistema de riego se establecen cuatro niveles de control organizados de forma jerárquica y, conectada a través de una arquitectura descentralizada, que permite que existan diferentes controladores a través del sistema, tal como se aprecia en la figura 33. Los niveles definidos de la arquitectura de control se analizan en los siguientes párrafos.

### **3.4.1. Arquitectura de control**

- **Supervisión remota:** este nivel es el que nos facilita la lectura de lo que está realizando el sistema mediante la comunicación wifi que tiene el ESP32, así subiendo las lecturas de los parámetros a la nube, representada con gráficos y que es de fácil lectura para el usuario.
- **Supervisión:** a través de este nivel, se establece la supervisión periódica de cada uno de los nodos sensores distribuidos en el terreno agrícola, enviando información del estado de dispositivos y más recursos que dispone, a fin de determinar su correcto funcionamiento. En este nivel también se verifica el funcionamiento general del sistema, las acciones predefinidas de control.

- **Centro de control:** en este nivel se encuentra el control general del sistema. La tarjeta controladora Esp32 es la que da señales al sistema para que cada una de las variables cumpla con su función, entre estas está el xbee para comunicación con los nodos sensores, los sensores de humedad, los sensores de presión, y así estos poder llevar un sistema más completo.
- **Unidades de campo:** contienen componentes electrónicos necesarios para ejecutar las instrucciones recibidas como se muestra en la figura 36, del centro de control, activar las válvulas, motores, sensores de todo tipo, etc., conectados a cada uno de ellos, que a su vez transmite al centro de control la información recogida en campo procedente de diversos sensores.



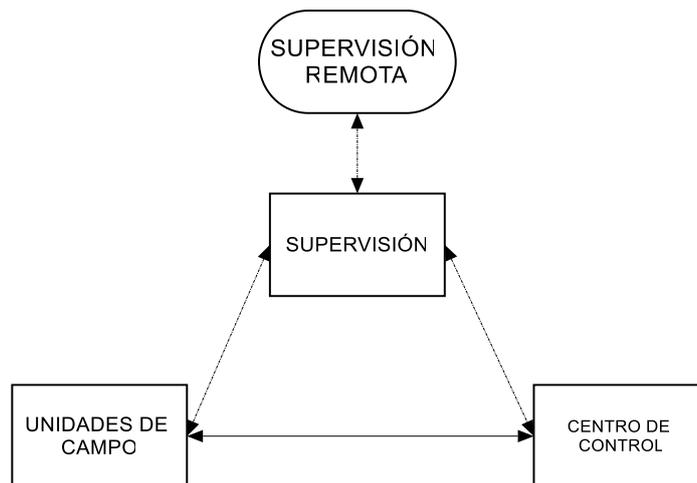
**Figura 36.** Pirámide de automatización.

### 3.4.2. Arquitectura de red

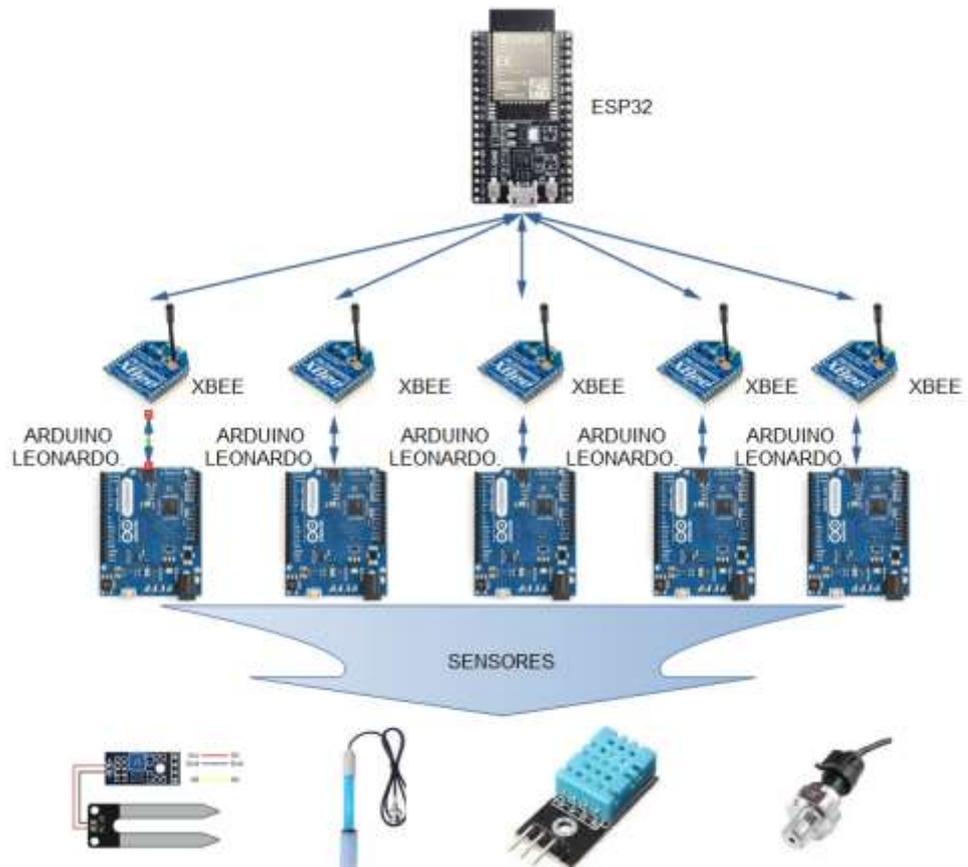
La red de sensores inalámbrica de este sistema se forma por elementos autónomos que se distribuyen a lo largo del área de trabajo, cada uno de estos elementos trabajan en equipo para lograr la recolección de datos y enviarlos a un nodo central como se muestra en la figura 38, eligiendo la mejor ruta de transferencia para que la información adquirida llegue exitosamente a su destino. Esta red propone una estructura jerárquica, teniendo el sistema de control, encargado de la supervisión y de comunicación del demás sistema,

los cuales se encargan de mandar a los actuadores y sensores. Existen cuatro niveles jerárquicos, cada uno asignado de tal forma que puedan trabajar en conjunto, pero con diferentes grados de prioridad, asimismo se dispone una asignación de topología en la red, la cual es la topología tipo estrella, elegida por ser una de las más estables que tienen las WSN.

El sistema de riego constará sólo de aquellos puntos que forman parte de la administración de la red como se representa en la figura número 34, se han designado diferentes tipos de nodos para cada uno de los subsistemas como se puede apreciar en la figura 37 y sus elementos, como se ha mencionado anteriormente, se ha asignado un nodo a cada subsistema, sin dejar de lado la jerarquía que los gobierna para conseguir una comunicación coordinada.



**Figura 37.** Red general inalámbrica de sistema de riego.

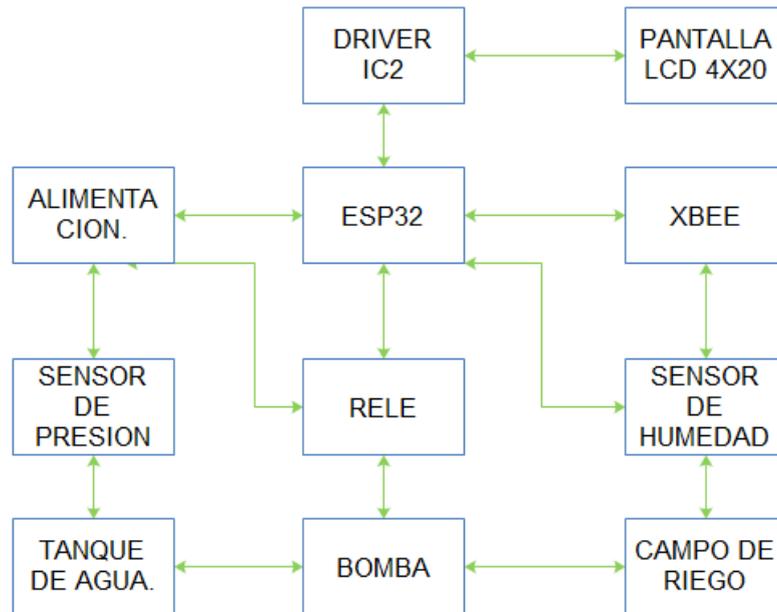


**Figura 38.** Diagrama de arquitectura de red.

### 3.4.3. Arquitectura hardware

#### 3.4.3.1. Control de mando.

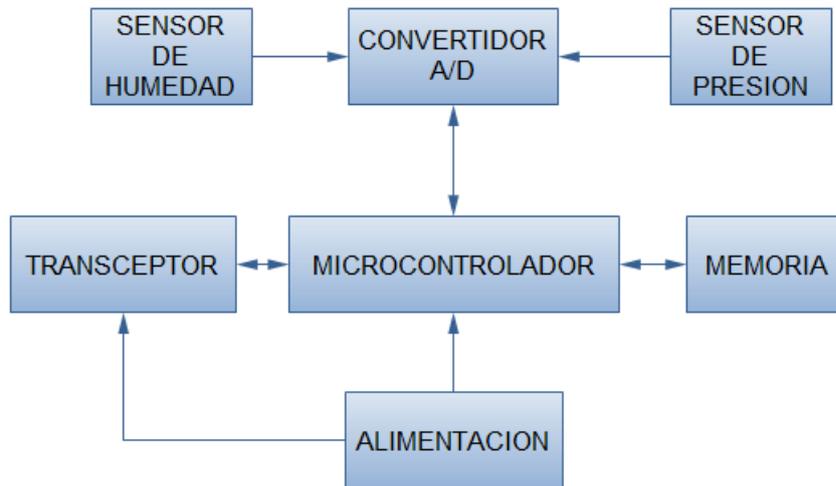
En este apartado se realiza una proyección física de cada uno de los nodos que serán los encargados de gestionar el sistema de riego. La arquitectura externa nos permite mostrar cómo se debe conectar cada elemento que compone el circuito. A cada uno de los procesos se le asignará un microcontrolador ESP32 de 32 bits que funciona de 160 a 240 MHz y con una tensión de alimentación de 3,3 V. El también proporciona conectividad Wi-Fi para facilitar la comunicación entre ellos. Su bajo costo es una de las razones por las que este microcontrolador forma parte de esta red por lo que su costo de mantenimiento también será relativamente económico. La figura 39 muestra la conexión de los elementos del sistema, el circuito con una fuente de alimentación operará el microcontrolador.



**Figura 39.** Arquitectura hardware.

### 3.4.3.2. Arquitectura nodo sensor

Son los sensores encargados de recoger datos del entorno. Además, estos nodos tienen estructuras de memoria, procesamiento, comunicación y poder que pueden operar con información sensorial y transmitirla a otros nodos como se muestra en la figura 40. Estos sensores son los encargados de recoger todos los datos del entorno. Producen una señal de retroalimentación analógica que corresponde a la medición de cualquier cambio físico en el entorno. A su vez, esta señal es escaneada por un convertidor A/D y enviada al controlador para su procesamiento. El controlador a menudo se convierte en un microcontrolador porque es más barato, más flexible y de bajo consumo de energía, pero también puede usar microprocesadores o procesadores de señales digitales. Las funciones básicas del controlador son: procesar los datos del sensor y controlar el funcionamiento de otros componentes del nodo. Los dispositivos de recepción y transmisión de un nodo sensor están en uno: el transceptor. Este transceptor es el encargado de comunicarse con otros sensores de nodo o puerto (Muniz, 2016).



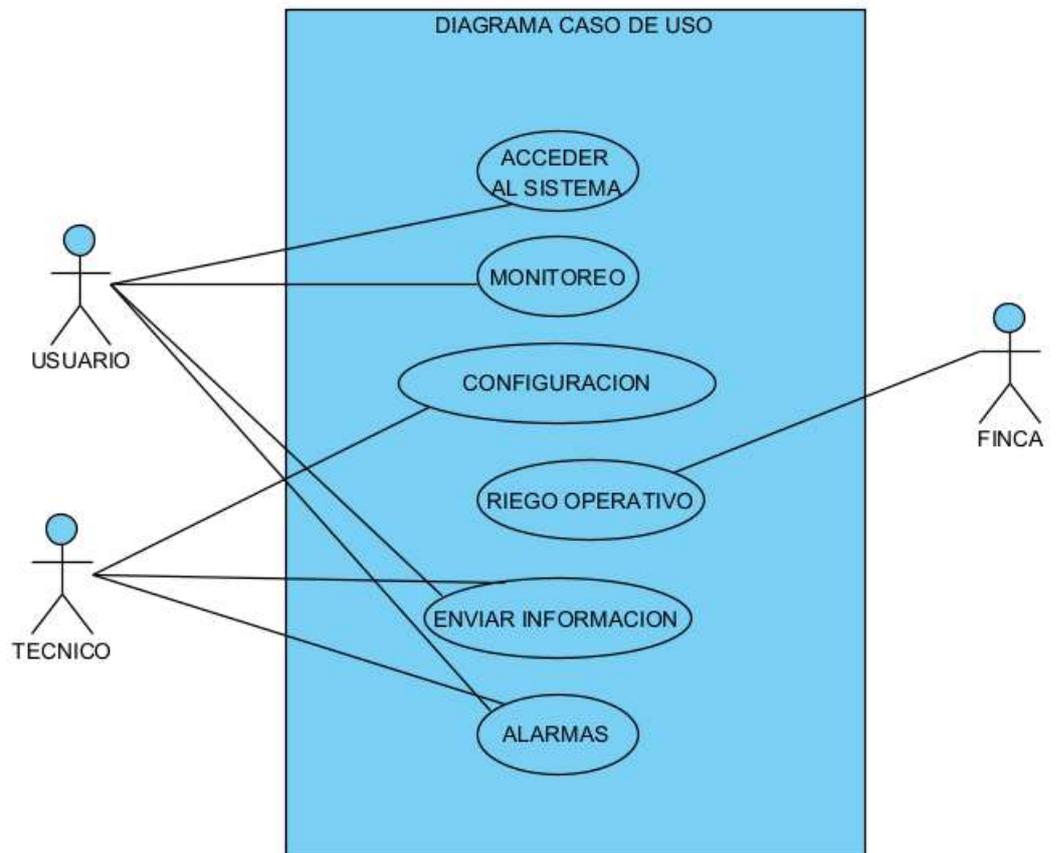
**Figura 40.** Arquitectura del nodo sensor.

### 3.5. Modelado del sistema de riego

Los modelados son un mecanismo que nos ayuda a expresarnos con la construcción básica de bloques en las que podemos representar ideas y entrelazar la una con la otra, dando así una descripción conceptual o física de un sistema.

#### 3.5.1. Diagramas de casos de uso

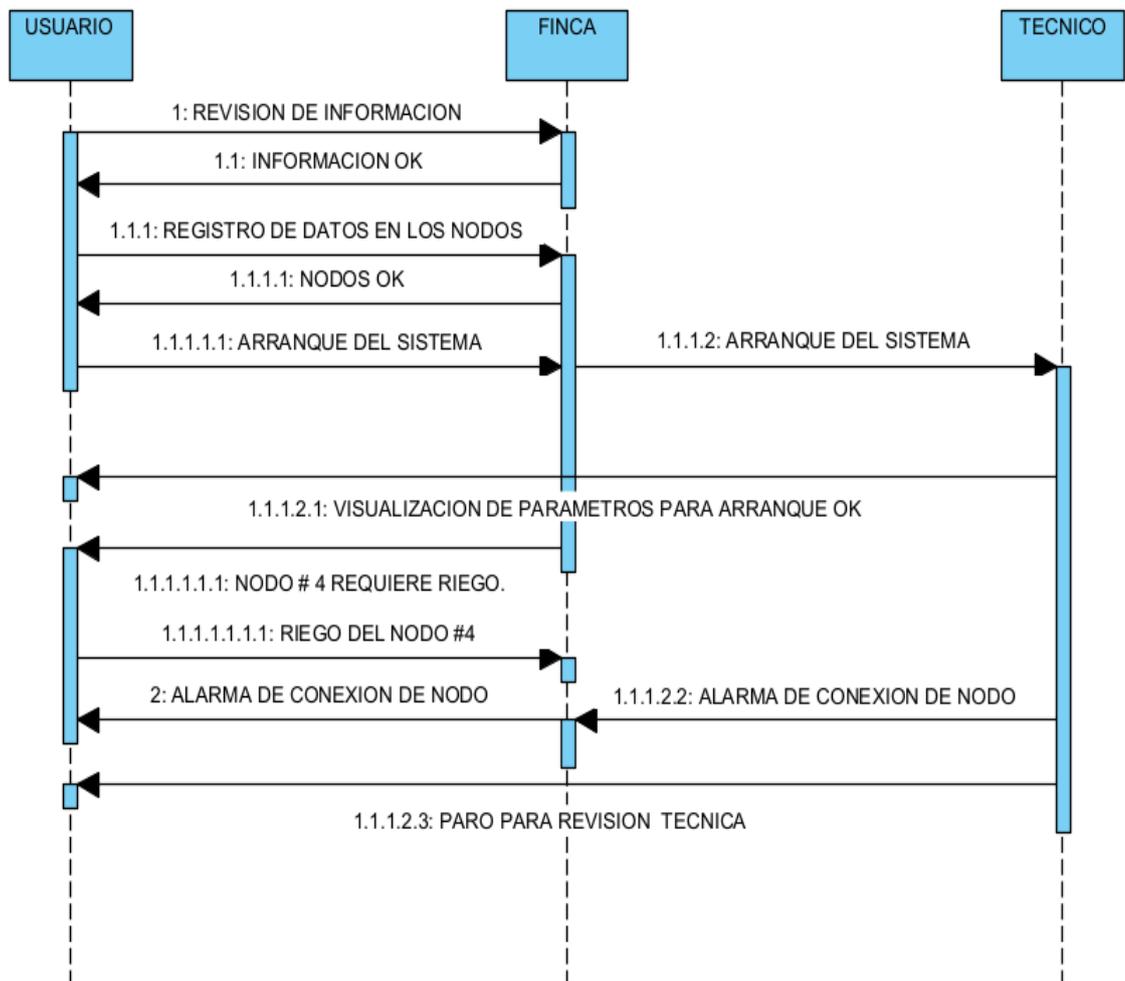
En el modelado del diagrama de casos de usos se seleccionaron como objetos interactivos: el registro del usuario, acceso al centro de control, información de regados realizados, información de parámetros ambientales tales como temperatura y humedad, ajuste de parámetros y enviar la información, como puede observarse en la figura 39.



**Figura 41.** Diagrama de casos de uso del sistema de riego automatizado.

### 3.5.2. Diagramas de secuencia

En el diagrama de secuencia de la figura 40 se puede observar la interacción entre las partes involucradas como serian el usuario, la finca y el técnico, como a su vez, se describen los procesos en los que estos interactúan para el funcionamiento del sistema.



**Figura 42.** Diagrama de secuencia

### 3.5.3. Diagramas de estado

En la figura 41, se puede observar los procesos o estados presentes en el sistema de riego automático de forma consecuente al tiempo dada la actividad, así como también la relación entre ellas.



### **3.6. Modelado en redes de Petri del sistema de riego**

El siguiente modelo de red de Petri le permite observar el comportamiento del sistema de riego y especifica los diversos procesos que se realizan. Hay varias variables en este proceso, como las de nivel de humedad, nivel del tanque de agua, la temperatura y presión de la bomba, estos parámetros son comprobados una vez se inicia el sistema y estos deben estar dentro del rango para poder operar.



### 3.6.1. Ecuaciones de Redes de Petri

Las siguientes matrices de Red de Petri son generadas a través del software de código abierto Pipe. Este programa permite la creación y análisis sobre el funcionamiento del modelado, y brinda información relevante como las: inhibiciones, limitaciones y los puntos muertos. Consecuentemente, se presentan los resultados de diferentes módulos que se obtuvieron de la Red de Petri de sistema de riego.

### 3.6.2. Matriz de inhibición H

Esta de matriz se observar en una Red de Petri donde interactúa, pero en función de una red binaria, donde '0' representa a un lugar vacío y '1' a un lugar ocupado, esta matriz debe indicar que va existir más de una señal de "sitio ocupado" en ningún proceso de la red, también comprueba la seguridad de la red al no utilizar ningún tipo de número que sea externo al sistema binario.

	T0	T1	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	T19	T20	T21	T22	T27
P0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P7	0	0	0	0	0	0	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	0	0
P9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 45. Matriz de inhibición H

### 3.6.3. Matriz de Marcado

En esta matriz, los marcadores se agrupan en dos categorías. Se considera que la señal 'P0' es el inicio de la red y el segundo marcador de tipo se coloca como 'Pn' y se considera que tiene un valor de '1', el desempeño de todos los procesos externos que componen el sistema.

	P0	P1	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	P21	P23
Initial	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Current	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 46. Matriz de marcado

### 3.6.4. Transiciones habilitadas

Solo la marca "T0" está activa en este tipo de matriz, esto es debido a la marca "P0" en la matriz anterior, por lo que es la marca de inicio.

T0	T1	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	T19	T20	T21	T22	T27
yes	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no

Figura 47. Transiciones habilitadas

### 3.6.5. Análisis del espacio de datos

Este módulo construye un árbol, todos los marcadores usados , a partir del cual se determinan las propiedades cualitativas de la red de Petri. Este módulo también proporciona la ruta más corta en caso de interbloqueo. Las propiedades que informan son perimetrales, sin bloqueo y de seguridad. La propiedad de restricción indica que no puede haber más de un marcador en la interacción que no sea el primer marcador asignado. El parámetro de seguridad es, lo que indica que esta red de Petri puede funcionar en todos los estados sin excepción, y el último es el parámetro de interbloqueo, que garantiza que la red no contiene interbloqueos, es decir, no se muestran bucles infinitos, o bucles que pueden afectar la eficiencia del proceso. Esto

significa que la red cumple con las propiedades de restricción y la red también es segura, porque solo hay un token como cualquier red binaria.

<b>Bounded</b>	true
<b>Safe</b>	true
<b>Deadlock</b>	false

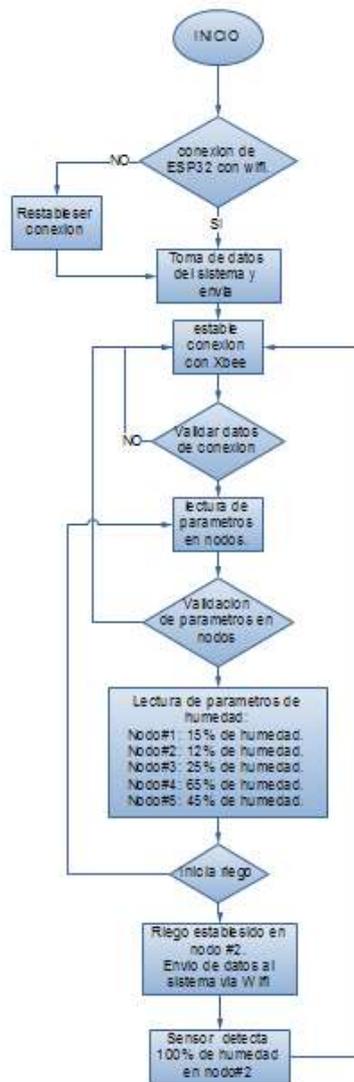
**Figura 48.** Análisis de espacio de datos

### 3.6 Subdivisión del sistema

El sistema de riego se subdivide en 3 partes siendo la tarjeta de control, nodo sensor y la supervisión remota la composición del mismo. A continuación, se describen los procesos que permiten controlar el sistema.

#### 3.7.1. Tarjeta de control

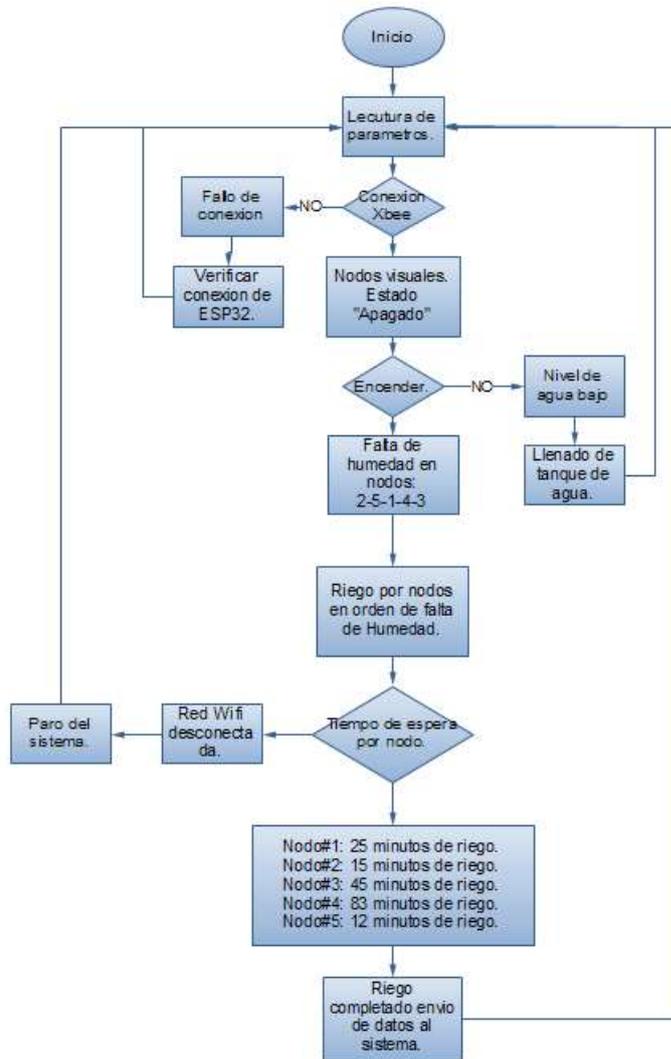
La tarjeta de control que directamente se refiere al ESP32, la cual mostrara los resultados de la lectura de parámetros y la concordancia entre sí para el desarrollo de las actividades como se muestra en la figura 48.



**Figura 49.** Diagrama de flujo de tarjeta de control

### 3.7.2. Nodo sensor

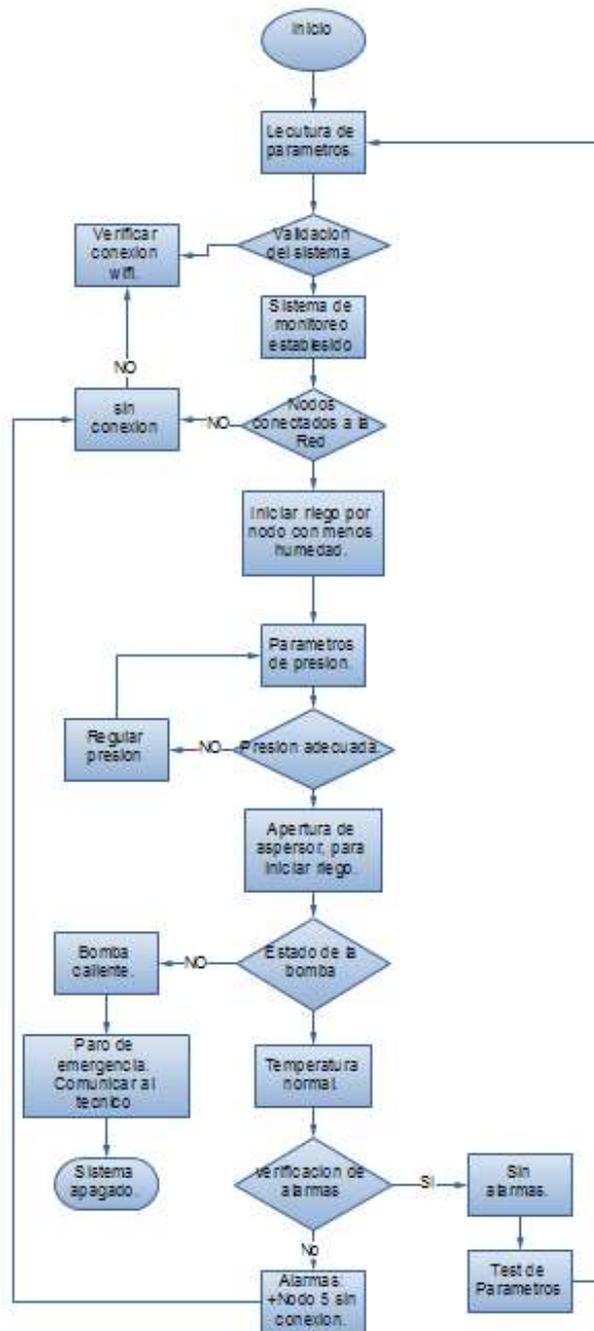
El protocolo del nodo sensor, está diseñado para que sensores puedan enviar la información de los parámetros del sistema a través del ESP32, estos son los precursores de la inicialización del sistema como se observa en la figura 49.



**Figura 50.** Diagrama de flujo del nodo sensor

### 3.7.3. Supervisión remota

La supervisión sería la última fase del sistema que conectado a las actividades del nodo sensor y la tarjeta de control, permiten visualizar los parámetros del sistema de riego para su posterior configuración, asegurando el óptimo funcionamiento del sistema, como se muestra en la figura 50.



RE

Figura 51. Diagrama de flujo de la supervisión remota

### 3.7.4. Evaluación del sistema

Esta red elaborada para el sistema de riego que fue representada a través de la simulación mediante un diagrama esquemático de estados en el software Visual Objetc Net++, esto es para determinar mediante de un proceso el funcionamiento del sistema propuesto para el proyecto. Esta red

se encuentra representada en la figura 43, dando a conocer que el análisis de las propiedades de la red, como la estructura de los bloques de estados interconectados por una transición, funcionan de manera garantizada y obtenido la correcta formación de la red. Esta tiene propiedades de las cuales esas son:

#### **3.7.4.1. Alcanzabilidad.**

Se ha observado que una red de Petri de sistemas de riego automatizado utilizando una simulación de Visual Object Net, alcanza todos los estados de la red marcando el sistema. En general, se dice en estas redes que se puede llegar al  $M_n$  marcado desde el punto de partida  $M_0$ , si hay una secuencia de disparo que permita que la expansión de la marca alcance el  $M_n$  desde el punto  $M_0$ . En otras palabras, las fichas conocidas como marcadores deben circular a través de los arcos y orejetas de la red de Petri. Esta propiedad garantiza que siempre se alcancen todos los estados de la red durante el funcionamiento del sistema.

#### **3.7.4.2. Red limitada**

Además, al analizar la red y sus propiedades, se encontró que la red está limitada. Es decir, solo puede existir un token a la vez. En otras palabras, este límite  $k$  no se puede exceder. Los tokens indican en qué parte del proceso entra la simulación. Entonces la acción se realiza dónde está el token. Esta es la razón por la que no debería haber dos tokens, ya que solo se ejecuta un proceso a la vez. Es importante recordar también que los tokens que hay en un lugar de la red es su límite. Esta propiedad garantiza que el sistema no entre en un bucle infinito cuando el máximo de tokens llegue a 1, o los tokens crezcan excesivamente y se desborden, lo que provocará un mal funcionamiento del procesador o bloqueos.

#### **3.7.4.3. Red viva**

La red de Petri del sistema, es una red activa porque nada la bloquea y siempre está activa. Esto significa que no hay puntos muertos en la red que afecten la capacidad del para realizar transiciones preventivas en la red. Como se puede ver en la figura #, si hay arcos de prueba diferentes simulando



#### **3.7.4.6. Red conforme**

Esta propiedad es dependiente, lo que indica que la red de Petri debe ser binaria y viva para satisfacer esta propiedad. Esto significa que debe haber un máximo de marcas igual a 1 por ubicación, y nada impide que todo el proceso de red realice la migración. El análisis de la Figura 43, revela que la red de Petri cumple con él, porque satisface ambas propiedades, indicando que es binaria y viva. Solo se puede realizar una operación a la vez, ya que las operaciones realizadas por el sistema solo pueden ser causadas por una persona dentro del sistema, y la marca indica de qué parte del sistema se trata. Es un proceso en ejecución.

#### **3.7.4.7. Red conservativa**

Esta propiedad indica que el número de marcadores necesarios en cada posición no cambia, es decir, es constante. Esto significa que la suma de marcadores en el punto de la red que contiene el primer marcador es constante. En otras palabras, el concepto de conservación se refiere a la cantidad de recursos disponibles y como se mencionó anteriormente, debe ser constante. Es decir, no debe cambiar mientras la red Petri esté funcionando. La red del sistema de riego automatizado desarrollada es conservadora durante todo el proceso de desarrollo, es importante tener claro que la misma cantidad de marcas equivale a 1 arcos y ubicaciones. Si se repite el proceso el número de marcas no aumenta.

#### **3.7.4.8. Red interpretada**

Las redes Petri están encontrando cada vez más usos, ya que permiten que el modele sistemas físicos específicos. En este trabajo de investigación, sistemas de riego automatizado. Si se asigna una red Petri a una parte de un sistema físico como elemento de descripción, cada una de las transiciones puede representar un estado físico. Los procesos específicos que tienen lugar en el sistema de riego modelado se pueden observar mejor en la red de Petri del sistema que se muestra en la Figura 43. En general, se sabe que las redes Petri son autónomas si no están asociadas a otra interpretación, y que tampoco lo son si la evolución de las redes de Petri se interpreta en función del tiempo.

## **CAPITULO 4: PRESENTACIÓN DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1. Presentación de resultados**

En este capítulo se muestran los resultados que se han obtenido con base en el desarrollo del estado del arte, la arquitectura del sistema, los diagramas en UML y la simulación en software con Redes de Petri.

### **4.2. Resultados del estado del arte**

Para desarrollar la tecnología del sistema de riego se realizó un bosquejo bibliográfico extenso, lo que permitió encontrar aportes contemporáneos de alto nivel en la comunidad científica, tales como la utilización del sensor resistivo o sensor de humedad, el sensor de temperatura y el sensor ultrasónico para observar y controlar. De los parámetros de temas relacionados con automatización y microcontroladores, se encontró cómo es posible controlar todo el sistema con solo un Microcontrolador para un sistema de riego automatizado. También se realizó una búsqueda exhaustiva en sistemas de riego automatizados, donde se obtuvieron documentos que contenían información relevante para contribuir a esta investigación. Logrando aplicar la tecnología más reciente para el sistema de riego automatizado.

### **4.3. Resultados de la arquitectura**

Se elaboró una arquitectura con las siguientes características: La arquitectura se orientó hacia un sistema de riego automatizada, la cual se focalizó en la que mejor pudiera describir los niveles de los diferentes elementos que posee un sistema de riego automatizado. La arquitectura de automatización del sistema está basada en los niveles de automatización, que posee una arquitectura jerarquía centralizada las cuales son: la supervisión remota, la supervisión, el centro de control y las unidades de campo en la que cada nivel cumple con una función importante dentro del sistema.

#### 4.4. Resultados del UML y Redes de Petri

Los diagramas UML fueron esenciales para poder anticipar y comprender cada función del sistema y crear modelos sistemáticos y precisos. El resultado fue la delimitación de tres actores involucrados en el sistema, el proceso y las interrelaciones que un proceso en particular tiene entre ellos.

- El diagrama de casos de uso, permitió dar la posición y el contexto de los casos de uso. Lo que facilitó el entendimiento y agregó coherencia al sistema ya que definió que para este sistema irían a interactuar la finca, el usuario y el técnico, en conjunto con 6 acciones generales donde cada una desarrolla un papel.
- Los diagramas de secuencia UML ayudaron a comprender mejor el sistema y las interacciones del usuario dentro de él. Este gráfico determina el número de tareas específicas realizadas por técnicos, finca y usuarios. Pero son secuenciales, ordenados y estructurados de forma definida.
- Los diagramas de estado UML ayudaron a identificar las rutas específicas que se deben tomar para satisfacer todas las funciones del sistema. En otras palabras, se observaron un total de 12 procesos definidos en este diagrama para cada función definida en los diagramas de secuencia y uso.

La red de Petri desarrollada cumple con los parámetros propuestos, por lo que se puede concluir que la red es confiable. Se muestra que la matriz  $H$  satisface la propiedad de los límites porque no tiene valores que no sean parte del sistema binario, a saber, 1 y 0. El análisis del espacio de estado también mostró la seguridad de la red, ya que todos los procesos existentes se ejecutaron, sin excepción. Esta red no creó un bucle infinito. Es decir, el parámetro de interbloqueo no es verdadero. Después de todo, esa interacción no implica marcas múltiples, por lo que se ajusta a la ausencia de un candado y se ajusta a las propiedades que lo determinen.

#### **4.5. Cumplimiento de las funciones del sistema**

El sistema pudo lograr un proceso confiable y seguro que consiste en varios dispositivos electrónicos con comunicación estable y pudo demostrar lo siguiente:

- El proceso que realiza el sistema de riego es continuo y tiene etapas de retroalimentación.
- Los sensores de nivel miden la cantidad de líquido que se posee y se comprueba en cada iniciación del sistema
- El sensor de humedad es el iniciador del proceso y esta manda la señal de activación del sistema al tener los parámetros de humedad necesarios.

#### **4.6. Cumplimiento de los Objetivos**

En el siguiente apartado del trabajo de investigación se analiza si los objetivos planteados han sido alcanzados y están bien estructurados de acuerdo al desarrollo del trabajo de investigación.

##### **4.6.1. Objetivo general**

El objetivo general se cumplió ya que se logró diseñar el sistema de riego automatizado para la optimización del agua en una finca, basado en microcontroladores que permiten automatizar el proceso de riego. Esta investigación muestra que el diseño arquitectónico, el modelado UML y el diagrama de redes Petri.

##### **4.6.2. Objetivos específicos**

- Se diseñó el sistema de riego automatizado para una finca ganadora, donde se determinaron los parámetros de humedad, frecuencia de riego y elementos necesarios para su óptimo funcionamiento.

- Se modeló el sistema de riego automatizado utilizando el lenguaje de modelado unificado. Los diagramas de estado, secuencia y uso se crearon en este bajo este sistema y contribuyeron significativamente para la investigación.
- Las pruebas realizadas mediante la simulación del sistema utilizando redes de Petri del software VisualObjectNet++ permitieron verificar y validar el sistema y sus procesos. La correcta formación de la red puede ser analizada y determinada a partir de propiedades funcionales y estructurales, asegurando así su funcionamiento.

#### **4.7. Problemas de investigación**

El problema de investigación se basa en la optimización del agua en una finca agrícola y ganadera, por ello se propuso el diseño de un sistema de riego automatizado. El cual al ser automatizado no requerirá tanto trabajo al regar las plantas solo supervisión, ya que el sistema cuenta con sensores de nivel de agua para su mayor optimización y un sensor de humedad que mide la cantidad de agua disponible en la tierra, para de esta manera regar solo cuando sea necesario y por un ciclo de tiempo determinado y automático. El cual será supervisado a través de la información que envíe el Microcontrolador ESP32 donde se evaluarán que los parámetros sean los indicados. Logrando así una disminución en la cantidad de agua y tiempo utilizado en el riego de las plantas.

## CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 CONCLUSIONES

- Con la introducción de este sistema, se determina que el tiempo y la ruta de riego en la finca se pueden optimizar de manera rentable y fácil de administrar. La teoría examina las soluciones al problema, definiendo que la implementación de sistemas de riego autónomos minimiza el trabajo de las personas.
- También esta práctica permite un uso eficiente del agua basado en el balance de humedad del suelo es barata y fácil de implementar. El sistema de riego automático mejora el control del riego y aumenta la productividad de la planta. Al instalar este sistema, es posible optimizar el tiempo y la forma de riego para áreas pequeñas a bajo costo.
- El modelado UML permitió identificar los actores presentes en el sistema de riego, siendo identificados como el usuario, técnico y la finca. En el diagrama de casos de uso se describieron las 6 acciones en las cuales estos están involucrados, en el diagrama de secuencia los 12 procesos que se llevan a cabo en la ejecución del sistema y en el diagrama de estados las acciones que describen el sistema de riego aromatizado en general.
- El modelado de redes de Petri permitió observar el comportamiento del sistema de riego y especificar los diversos procesos que se realizan. Donde habiendo identificado varias variables en el proceso, como las de nivel de humedad, nivel del tanque de agua, la temperatura y presión de la bomba, se pudo comprobar que una

vez se inicia el sistema y estos están dentro del rango para poder operar, el sistema funciona correctamente.

- Los avances tecnológicos han hecho posible medir la humedad del suelo de forma económica, lo que hace posible la implementación y comercialización de estas técnicas.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

Este sistema está limitado a espacios pequeños debido a su implementación de bajo consumo, pero tiene la opción de usar el mismo diseño e incorporar accesorios de mayor rendimiento para extenderlo a la vida real en espacios de cultivo más grandes.

Un buen expediente técnico requiere la adquisición de más conocimientos sobre la creación, investigación y producción de hojas de datos técnicos durante el transcurso de la realización de un proyecto, ya sea un proyecto de software o un proyecto de hardware.

Se debe desarrollar un plan de interfaz del sistema de riego comprensible para el usuario, ya que indica dónde se debe instalar el equipo para contribuir a la eficiencia y productividad del riego de cultivos.

Se debe tener en cuenta que el sistema siempre tendrá que variar, dependiendo de factores tales como el terreno, el cultivo, y el sistema de riego a implementar, incluso este puede ser más eficiente implementando nuevos sensores.

## **5.3 TRABAJO FUTURO**

Los sistemas de riego automatizados están en constante evolución, cada vez son más los requisitos de los usuarios para alcanzar mayores niveles de confort, la arquitectura de jerárquica centralizada desarrollada en esta investigación sirve de apoyo a las nuevas tecnologías en el ámbito de sistema de riegos; sin embargo, se enfrentan a varios retos para desarrollar sistemas más estructurados usando la automatización a través de la inteligencia artificial. La estructura de la red detalla las principales características presentes en el sistema de riego automatizado en huertas. Se pueden implementar otros sistemas para completar el sistema general de automatización de riego basado en el modelo propuesto.

## REFERENCIAS

- Al-Bakry, A. (2011). Model's quality assurance using MSA and Petri Net. *College of Computer Technology, University of Babylon, Iraq.*
- Aldea, E. (2016). *Arduino. Guía práctica de fundamentos y simulación.* RA-MA.
- Ambientum. (agosto de 2011). *Arduino CC.* Obtenido de <http://www.Arduino.cc>
- ArduinoCC. (agosto de 2011). *Arduino básico.* Obtenido de <http://www.Arduino.cc/es>
- Arias, F. (2012). *El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica.* 6ta.
- Arrieta, M. P., Alarcón, Y., & Villa, J. L. (2020, November). Internet of Things Applied to Agricultural Irrigation Systems in Pasture Grasses. In 2020 IX International Congress of Mechatronics Engineering and Automation (CIIMA) (pp. 1-6). IEEE.
- Canales, A., & Martínez, J. (2020). *Automatización y telecontrol de sistemas de riego.* Marcombo.
- ComputingNetwork. (5 de mayo de 2011). Wide-Area Wirelles Computing.
- Faysal, Z., & Mohammed, G. (2021). Remote Farm Monitoring and Irrigation System. *AL-Rafidain Journal Of Computer Sciencies and Mathematics*, 15(2), 123-138.
- Fowler, M., & Sccott, K. (1999). *UML Gota a Gota.* EE.UU: Person Education.
- Frey, J.-E., Endersen, J., Kreitz, A., & Scheible, G.-T. (2005). Sensores y ejecutores inalámbricos en sistemas de control industrial. *ABB*, Parte 1.
- Gallardo, M. (2014). *Sistema electrónico para aplicación en juguetes infantiles basado en Arduino con capacidad de interacción multimedia.* Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.
- García, L. (2020). *Propuesta y análisis de metodologías para la evaluación de recursos hídricos mediante modelos precipitación-escorrentía.* Universidad Politécnica de Valencia: Doctoral Dissertation.

- Guijarro-Rodríguez, A. A., Torres, L. J. C., Preciado-Maila, D. K., & Manzur, B. N. Z. (2018). Sistema de riego automatizado con Arduino. *Sistema*, 39(37), 27.
- Gurovich, L. (1985). *Fundamentos y diseño de sistemas de riego*. Lica.
- Gutiérrez, D. (2011). *Casos de uso Diagramas de Casos de Uso*. Gutierrez, Demián, 1, 45.
- Herrador, E. (2009). *Hardware ampliable de código abierto. Guía de Usuario Arduino*.
- Hoddie, P., & Preder, L. (2020). *IoT Development for ESP32 and ESP8266 with JavaScript*. CA, USA: Apress.
- Hurtado, J. (2005). *Como formular objetivos de investigación*. Quirón Ediciones. Fundación Sypal.
- IONOS. (15 de agosto de 2021). *IONOS Digital Guide*. Obtenido de Desarrollo Web: <https://www.ionos.mx/digitalguide/paginas-web/desarrollo-web/diagrama-de-componentes/>
- Izaguirre, E. (2012). *Sistemas de automatización*. Feijóo.
- Jan-Erik, F., Jan, E., Andreas, K., & Guntram, S. (2005). *Sensores y ejecutores inalámbricos en sistemas de control industrial*. ABB, Parte 2.
- Mayhua López, E., Ludeña Choez, J., Tamayo Bedregal, J., Cuba Reyes, M., Núñez Zambrano, Á., Gonzales Ale, N., & Lozada Herrera, D. (2015). *Sistema de riego por goteo automático utilizando una red de sensores inalámbricos*. *Revista de Investigación Arequipa*, 7, 69-92.
- Madrid, J. (2006). *Seguridad en redes inalámbricas* 802.11. *Sistemas y Telemática*.
- Maharatna, K. K. (2020). *Computational advancement in communication circuits and systems*. Singapore: Springer.
- Marín, G. (05 de 2019). *Diseño y automatización de un sistema de riego para una parcela ganadera de 9 hectáreas*. Obtenido de <https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/6694>
- Martínez, E. (2014). *Programación concurrente redes Petri*.
- Martínez, J. (22 de septiembre de 2022). *Automatización del sistema de riego en módulos de agricultura urbana mediante el uso de un relé programable tipo TUE-2(A) para el municipio de Pasto*. *Programa de*

- Tecnología en Mantenimiento Electromecánico Industrial*, 9(2).  
Obtenido de uan:  
[http://repositorio.uan.edu.co/bitstream/123456789/6083/1/2022\\_T.G.MenesesMartinez%2cJuniorEsteban.pdf](http://repositorio.uan.edu.co/bitstream/123456789/6083/1/2022_T.G.MenesesMartinez%2cJuniorEsteban.pdf)
- Monica, M., Yeshika, B., Abhishek, GS, Sanjay, HA y Dasiga, S. (2017, octubre). Control y automatización basados en IoT del sistema de riego inteligente: un sistema de riego automatizado que utiliza sensores, GSM, Bluetooth y tecnología en la nube. En 2017 Conferencia Internacional sobre Innovaciones Recientes en Procesamiento de Señales y Sistemas Embebidos (RISE) (pp. 601-607). IEEE.
- Moreno, E. (2001). Automatización de procesos industriales. Valencia: Alfaomega.
- Muniz, O. (2016). Redes de computación. Brasil.
- Mutiara, GA, Hapsari, GI y Kusumo, DJ (2017). Prototipo de control y automatización de sistema de riego para los arrozales. *Letras de ciencia avanzada*, 23 (5), 4036-4040.
- Naik, P., Kumbi, A., Katti, K. y Telkar, N. (2018). Automatización de sistema de riego mediante IoT. *Revista internacional de ciencia de ingeniería y fabricación*, 8 (1), 77-88.
- Rahman, F. (agosto de 2022). *International Journal of Electronics and Electrical Engineering*.
- Rajkumar, M. N. (2017). Sistema de riego inteligente: un enfoque basado en IOT. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8094057>
- Ramírez, L. G., Jiménez, G. S., & Carreño, J. M. (2014). *Sensores y Actuadores*. Grupo Editorial Patria.
- Ramos, R. (2017). Guía de diseño e instalación de sistemas de riego automático. *Agroalimentando*.
- Rao, R. N. (2018). *International Conference on Inventive Systems and Control*. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/document/8399118>
- Rau, P. B. (2017). Regionalization of rainfall over the Peruvian Pacific slope and coast: Regionalization of rainfall (Peruvian Coast). *Int J Climatol*, 37:143-158.
- Safwan A. Hamoodi, A. N. (agosto de 2022). *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*. Obtenido de <https://beei.org/index.php/EEI/article/view/1736/1464>

- Sangoquiza, B. (2015). *Estudio sobre conexión en paralelo de generadores utilizando relés de sincronización*.
- Simón, J. L. (0 de agosto de 2022). *Scielo Perú*. Obtenido de [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2313-29572020000100095&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2313-29572020000100095&script=sci_arttext)
- Stevens, P., Pooley, R., & Wesley, A. (2002). *Utilización de UML en ingeniería del software con objetos y componentes*.
- Storrie, H. (2000). *Models of Software Architecture - Design and Analysis with UML and Petri-Nets*. GmbH.
- Tinetti, F., & López, R. (2007). Ambiente de desarrollo y puesta en marcha de sistemas basados en microcontroladores. *Investigadores en Ciencias de la Computación*.
- UTP. (Agosto de 2022). *Universidad Tecnológica de Perú*. Obtenido de *REDES INALÁMBRICAS DE ÁREA METROPOLITANA (WMAN)*: <https://utp-redesinalambricas.blogspot.com/p/wman.html>



## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Macías Veliz, Carlos Yoryi**, con C.C: # **0930676754** autor del trabajo de titulación: **Sistema de control de riego para finca agrícola y ganadera, basado en sistemas micro programables**, previo a la obtención del título de **Ingeniero en electrónica en control y automatismo** de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

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

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

Guayaquil, 3 de **septiembre** del **2022**

Carlos Macias

f. \_\_\_\_\_  
Nombre: **Macías Veliz, Carlos Yoryi**  
C.C: **0930676754**



<b>REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA</b>			
<b>FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN</b>			
<b>TEMA Y SUBTEMA:</b>	Sistema de control de riego para finca agrícola y ganadera, basado en sistemas micro programables.		
<b>AUTOR(ES)</b>	Carlos Yoryi Macías Veliz		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>	Ing. Eduardo Vicente Mendoza Merchán, Mgs.		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
<b>FACULTAD:</b>	Facultad técnica para el desarrollo		
<b>CARRERA:</b>	Ing. Electrónica en control y automatismo		
<b>TÍTULO OBTENIDO:</b>	Ing. Electrónica en control y automatismo		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	3 de septiembre del 2022	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	84
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Redes de Petri, Modelados, Arquitecturas		
<b>PALABRAS CLAVES:</b>	Riego, Petri, Nodo, Sensor, Arquitectura, Automatización.		
<b>RESUMEN:</b>			
<p>En una sociedad moderna, mantener una finca agrícola grande, resulta complejo, debido a que las plantas se deshidratan por falta de riego. Para evitar esto, se plantea proyectar un sistema de riego automático aplicables una finca, que combine soluciones de hardware y software libres, para medir la humedad de la tierra, porque forman parte del ecosistema del huerto. Esta solución se controla a partir de un Microcontrolador Arduino, que actúa como centro de operaciones para asegurar el suministro y la dosificación de agua, por medio de una bomba de agua y un relé de activación para mantener hidratadas plantas.</p>			
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	<b>Teléfono:</b> +593-980152717	E-mail:carlosmacias_25@hotmail.com	
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::</b>	<b>Nombre:</b> Ing. Efraín Oliverio Vélez Tacuri		
	<b>Teléfono:</b> +593 99 408 4215		
	<b>E-mail:</b> efrain.velez@cu.ucsg.edu.ec		
<b>SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA</b>			
<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>			
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>			
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>			