

**PROPUESTA DE SISTEMA DE RIEGO PARA CULTIVO DE TOMATE, UTILIZANDO
TECNOLOGÍA DE LA INDUSTRIA 4.0 EN LA FINCA EL PORVENIR (MUNICIPIO DE VIANÍ,
CUNDINAMARCA).**

Jaime Alejandro Lievano Morera

Elkin Mauricio Castillo Pedraza

Fundación Universitaria Agraria De Colombia. Uniagraria

Facultad De Ingeniería.

Departamento De Ingeniería Mecatrónica

Facatativá Cundinamarca

Noviembre de 2023

**PROPUESTA DE SISTEMA DE RIEGO PARA CULTIVO DE TOMATE, UTILIZANDO
TECNOLOGÍA DE LA INDUSTRIA 4.0 EN LA FINCA EL PORVENIR (MUNICIPIO DE VIANÍ,
CUNDINAMARCA).**

Jaime Alejandro Lievano Morera

Elkin Mauricio Castillo Pedraza

DIRECTOR

Ing. John Monzaide Álvarez Cely

Anteproyecto De Investigación Para Optar por el título de Ingeniero Mecatrónico

Fundación Universitaria Agraria De Colombia. Uniagraria

Facultad De Ingeniería.

Departamento De Ingeniería Mecatrónica

Facatativá Cundinamarca

Noviembre de 2023

Nota de aceptación

Jurado 1

Tabla De Contenido

1	Formulación Del Problema.....	11
2	Justificación	18
3	Objetivos.....	21
3.1	Objetivo General	21
3.2	Objetivos Específicos.....	21
4	Marco Referencial	22
4.1	Estado del arte	22
4.2	Marco Histórico.	24
4.3	Marco Teórico	27
4.3.1	Cultivo de tomate	27
4.3.2	El riego.	27
4.3.3	Sistema de riego por goteo.....	28
4.3.4	Sistema de riego por aspersión.....	28
4.3.5	Sistema de riego por microaspersión.....	29
4.3.6	Sistema de riego por inundación.....	29
4.3.7	Riego automático programado.	29
4.3.8	Cultivos bajo invernadero.	30
4.3.9	Protección de los cultivos.	30
4.3.10	Automatización de invernadero para producción agrícola.....	31

4.3.11	Conceptos generales de hidráulica y de riego	31
4.3.12	Caudal	32
4.3.13	Fuerza	32
4.3.14	Presión	32
4.3.15	Número de Reynolds	33
4.3.16	Ecuación de Bernoulli	33
4.3.17	Potencia	34
4.3.18	Evotranspiración	34
4.3.19	Intervalo de riego	35
4.3.20	Lamina disponible	35
4.3.21	Tiempo de riego	35
4.3.22	Turnos de riego	36
4.4	Marco Conceptual	36
4.4.1	Riego por goteo	36
4.4.2	Riego por microaspersión	36
4.4.3	Riego automatizado	37
4.4.4	Sensor	37
4.4.5	IoT (Internet de las cosas)	37
4.4.6	Sistemas de control automático	38
4.4.7	Utilización de IOT para recolección de datos	38
4.5	Marco Técnico	39

4.5.1	Selección de equipos	39
4.5.2	PLC en un sistema de riego	41
4.5.3	PLC modular	43
4.5.4	PLC compacto.....	44
4.5.5	Tipos de sensores de nivel	44
4.5.6	Tipos de bombas.....	46
4.5.7	HMI	47
4.5.8	Lenguaje de programación PLC (LD).....	48
4.6	Marco Legal.....	50
4.6.1	Normatividad Nacional.....	50
4.6.2	Normatividad Ambiental Vigente	51
4.7	Normatividad Ambiental Nacional Vigente / Recurso Hídrico	52
5	Diseño Metodológico.....	53
5.1	Enfoque de la Investigación.....	53
5.2	Nivel de investigación.	53
5.3	Metodología empleada.....	54
5.4	Hipótesis.....	54
5.5	Población.....	54
5.6	Muestra.....	55
5.7	Técnicas de recolección de datos.	57
5.8	Entrevista.....	57

6	Desarrollo Ingenieril.....	59
6.1	Análisis del sistema actual.....	59
6.1.1	Análisis del sistema propuesto	61
6.2	Planificación.....	63
6.2.1	Ubicación área del sistema de riego a automatizar.....	63
6.3	Diseño del sistema de riego.....	64
6.4	Diseño Electrónico	65
6.4.1	Elementos electrónicos seleccionados.....	65
6.5	Automatización.....	68
6.6	Integración.....	69
6.7	Lógica narrativa de la programación	71
7	Recursos.....	72
7.1	Infraestructura	72
7.2	Recursos para operación.....	72
8	Cronograma de actividades	74
9	Bibliografía.....	75
10	Anexos	81

Lista de tablas

Tabla 1	Línea del tiempo marco histórico.....	25
Tabla 2	Matriz de Selección de Equipos	39
Tabla 3	Normatividad Nacional Vigente en sistemas de riego.....	50
Tabla 4	Normatividad Ambiental Nacional Vigente	51
Tabla 5	Normatividad Ambiental Nacional Vigente / Recurso Hídrico	52
Tabla 6	Análisis del sistema actual.....	60
Tabla 7	Características del motor	67
Tabla 8	Características de la bomba.	68
Tabla 9	<i>Recursos</i>	73
Tabla 10	<i>Cronograma de Actividades</i>	74

Lista de Figuras

Figura 1 Tanque de almacenamiento de agua 1000 Litros	13
Figura 2 Pozo (Reservorio).....	14
Figura 3 Cultivo en invernadero.	15
Figura 4 Consumo de agua	16
Figura 5 Climática de Vianí.....	17
Figura 6 <i>Cultivo de Egipto</i>	25
Figura 7 <i>Aguas subterráneas</i>	25
Figura 8 <i>Proyectos de distritos de riego</i>	25
Figura 9 <i>Aspersor Rain Bird</i>	26
Figura 10 <i>Reforma Agraria</i>	26
Figura 11 <i>Instituto Nacional de Adecuaciones de Tierras</i>	26
Figura 12 <i>Agricultura 4.0</i>	27
Figura 13 Sistemas de riego	28
Figura 14 Sistema riego para invernaderos	30
Figura 15 Sistema de Riego con uso de PLC	41
Figura 16 Partes que comprenden una estructura con PLC.....	42
Figura 17 PLC modular.....	43
Figura 18 PLC compacto	44
Figura 19 Red de diagrama de contactos.	48
Figura 20 Lenguaje Ladder.....	49
Figura 21 Diseño Metodológico	56
Figura 22 Análisis del sistema actual	61
Figura 23 Metodología de diseño para sistemas mecatrónicos VDI2206.	62
Figura 24	63

Figura 25	Diseño e instalación de sistema de riego por goteo automatizado.....	64
Figura 26	PLC Logo! siemens	65
Figura 27	Interruptor de flotador.....	66
Figura 28	Bomba Centrifuga.....	67
Figura 29	Diagrama del sistema de riego integrado.....	69
Figura 30	Visualización CoDeSys	70

1 Formulación Del Problema

En Colombia los recursos destinados para la investigación del desarrollo rural manejan una tendencia a la baja, como se evidencia en diferentes investigaciones realizadas. Siendo uno de los países que dedica menor porcentaje de recursos (bienes públicos) para tal fin, como se mencionó en la investigación agropecuaria (Perry, Situación actual de la ciencia y la tecnología agropecuaria en Colombia, 2014). El país tiene un potencial irrigable de 18.456.749 hectáreas, según (UPRA, 2017), las cuales están plasmadas en la historia de la política nacional de riego, además se ha adecuado alrededor de 1.100.000 cultivos con esta técnica de riego. Este desarrollo es escaso, puesto que solo se han implementado con riego el 6 % del territorio potencial del país, sumando los esfuerzos públicos y privados (Ministerio de agricultura y desarrollo rural, 2020).

Es un país con potencial para expandir bajo riego su territorio, cuenta con una calidad de suelos óptima que ofrece a los agricultores variedad en sus cultivos y actualmente cuenta con 950.000 hectáreas de agricultura irrigada, donde aproximadamente el 90% se riega mediante sistemas por gravedad. (Corporacion Autonoma Regional, 2010)

El municipio de Vianí está ubicado en la provincia del Magdalena centro del departamento de Cundinamarca a 87 km de la capital del País y de acuerdo con las proyecciones al año 2023 Vianí cuenta con 5.078 habitantes en donde el 90% de la población es rural (DANE, 2023), de este porcentaje de agricultores gran parte presenta falta de tecnificación y capacitación en el correcto desarrollo en los entornos agropecuarios y el avance productivo, con esta investigación se espera conocer información que sirva de referencia de los elementos importantes a considerarse para establecer en un sistema de riego automatizado.

En el mapa de clasificación del clima en Colombia, Vianí es un municipio que goza de una temperatura ambiente que oscila entre los 15°C a los 24°C con una humedad relativa del

79%, sus principales productos agrícolas son el café, caña de azúcar, maíz, arracacha, yuca, tomate, entre otras. (ISDM Ingeniería Sostenible, 2017)

La Finca El Porvenir cuenta con suelos óptimos para la producción de varios tipos de frutas y hortalizas, se encuentra ubicada en la vereda Manillas del municipio de Vianí, de acuerdo con la información suministrada por el señor Víctor Manuel Muñoz agricultor y propietario de la finca, la cual tiene tres invernaderos destinados a la producción rotativa de tomate, pimentón, habichuela y pepino.

La producción de cultivo de tomate se ha venido desarrollando de manera empírica, de acuerdo con las necesidades y conocimientos que posee el agricultor, se evidencia una implementación de sistema de riego por goteo en cada uno de los invernaderos y su funcionamiento es de forma manual, el cual inicia con el llenado de un tanque ubicado en la parte superior de la finca, que a su vez sirve de unidad de medición de la cantidad de agua que se requiere en cada riego (mil litros, dos veces al día), que se dividen en dos suministros en un horario de ocho de la mañana y otra cantidad igual a las tres de la tarde, para un total de dos mil litros cúbicos al día. A la salida de este tanque se encuentra una manguera de una pulgada que llega al invernadero y allí se distribuye en ramales de media pulgada creando goteros ubicados cada diez centímetros en cada uno de los surcos del cultivo.

Figura 1

Tanque de almacenamiento de agua 1000 Litros



Este suministro de agua se realiza por diferencial de presión, el tanque con capacidad de 1.000 litros, se encuentra ubicado estratégicamente en una parte más alta que el invernadero, el cual tiene una dimensión rectangular de treinta metros de largo por dieciséis metros de ancho específicamente para el cultivo de tomate de guiso chonto.

La alimentación al bidón se realiza por medio de una bomba centrífuga que succiona el agua desde un pozo (reservorio) con capacidad de ciento cuarenta mil litros y se alimenta por el nacedero llamado el Naranjal, que hace parte del acueducto de la vereda, por otro lado, el agricultor realiza una recolección de aguas lluvia para el aprovechamiento de su cultivo y hacer un aporte económico de su actividad y al medio ambiente.

Figura 2

Pozo (Reservorio).



Afirma el señor Víctor Muñoz, que la finca El Porvenir cuenta con capacidad de cultivo de diez mil plantas de tomate y un promedio por cada planta de siete kilos de producto, la cosecha se da a los setenta días de haber realizado la siembra y tiene una durabilidad promedio de tres a cuatro meses. Al año se proyectan tres cosechas de las cuales se obtiene ciento ochenta mil kilos de tomate.

La rotación de cultivos en la finca el Porvenir es importante para mitigar ciclos de reproducción de plagas y enfermedades, sus siembras de rotación son el Tomate como la principal potencia seguido del pimentón, pepino y habichuela.

Figura 3***Cultivo en invernadero.***

El propietario de la finca plantea que la problemática principal del cultivo es el factor del clima dejando pérdidas importantes en temporadas donde la temperatura es muy baja para la planta y esto evita el desarrollo óptimo del cultivo, otro factor es la humedad que se genera en el siembra y se evidencia de manera empírica al observar la planta y su estado físico. El señor Víctor Muñoz realiza el suministro de agua de manera manual y debe estar atento a los cambios del clima, al aumentar la temperatura se suministra una cantidad de 1.000 litros en horas de la mañana y 1.000 litros en horas de la tarde, en caso contrario cuando la temperatura es baja se suministra 500 litros en la mañana y 500 litros en horas de la tarde.

Figura 4

Consumo de agua

CONSUMO MEDIO DE AGUA -TOMATE- [litros/m² día]

MES	SEMANA	FECHAS DE TRANSPLANTE			
		2 ^a quincena Agosto	1 ^a quincena Septiembre	2 ^a quincena Septiembre	1 ^a quincena Octubre
AGOSTO	del 16 al 23	0,70			
	del 24 al 31	0,72			
SEPTIEMBRE	del 01 al 07	1,68	0,69		
	del 08 al 15	2,48	0,66		
	del 16 al 23	3,09	1,24	0,57	
	del 24 al 31	3,41	1,78	0,51	
OCTUBRE	del 01 al 07	3,57	2,25	0,87	0,45
	del 08 al 15	3,04	2,38	1,21	0,38
	del 16 al 22	2,75	2,59	1,54	0,49
	del 23 al 30	2,39	2,39	1,72	0,80
NOVIEMBRE	del 01 al 07	2,04	2,04	1,72	0,94
	del 08 al 15	1,84	1,84	1,76	1,05
	del 16 al 23	1,70	1,70	1,70	1,15
	del 24 al 31	1,41	1,41	1,41	1,08
DICIEMBRE	del 01 al 07	1,17	1,17	1,17	0,99
	del 08 al 15	1,09	1,09	1,09	1,00
	del 16 al 22	0,99	0,99	0,99	0,98
	del 23 al 30	0,97	0,97	0,97	0,97
ENERO	del 16 al 23	0,99	0,99	0,99	0,99
	del 16 al 23	1,05	1,05	1,05	1,05
	del 16 al 23	1,03	1,03	1,03	1,03
	del 16 al 23	1,14	1,14	1,14	1,14
FEBRERO	del 01 al 07	1,31	1,31	1,31	1,31
	del 08 al 15	1,33	1,33	1,33	1,33
	del 16 al 23	1,39	1,39	1,39	1,39
	del 24 al 31	1,39	1,39	1,39	1,39
MARZO	del 01 al 07	1,48	1,48	1,48	1,48
	del 08 al 14	1,63	1,63	1,63	1,63
	del 14 al 21	1,93	1,93	1,93	1,93
	del 22 al 28	2,07	2,07	2,07	2,07
ABRIL	del 01 al 07	2,42	2,42	2,42	2,42
	del 08 al 15	2,59	2,59	2,59	2,59
	del 16 al 23	2,85	2,85	2,85	2,85
	del 24 al 31	3,02	3,02	3,02	3,02

Nota: consumo de agua para el cultivo de tomate, tomado de (Agromatica, s.f.)

En la siguiente tabla se observa la relación del clima en Vianí en un mes determinado.

Figura 5

Climática de Vianí.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	19.8	20.1	20.1	19.9	19.8	19.6	19.5	19.9	20.1	19.7	19.5	19.6
Temperatura mín. (°C)	16.8	17.1	17.3	17.5	17.5	17.1	16.9	17.1	17.3	17.1	17	16.8
Temperatura máx. (°C)	23.7	24.1	23.9	23.2	22.8	22.5	22.6	23.2	23.6	23.1	22.9	23.2
Precipitación (mm)	134	210	370	498	609	569	522	401	381	383	288	186
Humedad(%)	75%	74%	78%	83%	85%	83%	80%	77%	78%	83%	84%	80%
Días lluviosos (días)	17	17	21	21	21	21	21	20	20	21	21	19
Horas de sol (horas)	8.0	8.0	8.0	8.0	8.3	8.6	8.8	8.9	8.6	7.5	6.9	7.5

Nota: Tomado de El European Climate Data, 2021 (Climate Data, 2021)

La temperatura adecuada para desarrollo del tomate chonto oscila entre los 20°C y 30°C durante el día y entre 1°C y 17°C durante la noche estando el clima del municipio óptimo para el progreso de este tipo de cultivo,

Las temperaturas mayores a los 30°C afectan la fructificación debido al mal desarrollo de óvulos y en general de la planta, por otro lado, las temperaturas inferiores a 12°C y 15°C dan origen a una fecundación defectuosa. (Paredes, A. 2009). Cuando se realiza el sistema de riego hay un desperdicio considerable del recurso hídrico ya que no hay un control que desactive la bomba a tiempo, por ende, el isotanque se rebosa y el Agricultor debe ir hasta el punto de la bomba para realizar la desenergización y de esta manera deje de bombear.

Adicionalmente el esfuerzo físico de don Víctor es demasiado alto porque debe realizar largos recorridos por zonas empinadas e irregulares para hacer los movimientos manuales de los sistemas hoy en día instalados y realice el riego del cultivo. Todo esto acarrea que en algunas

ocasiones sufra incidentes como golpes, esguinces y desgaste de articulaciones partiendo que ya tiene una edad considerable para ejecutar este tipo de tareas.

Con todo esto se llega a la pregunta: ¿Cómo mejorar el sistema de riego manual dentro de un invernadero para el cultivo de tomate en la finca El Porvenir del municipio de Vianí?

2 Justificación

La propuesta de implementar un sistema de riego automatizado en la finca El Porvenir, ubicada en la Vereda Manillas del municipio de Vianí, se fundamenta en diferentes consideraciones de orden climático, agrícola y tecnológico, así como en la necesidad de mejorar la eficiencia y sostenibilidad de las prácticas agrícolas en la región.

En este sentido, uno de los principales elementos que justifica el presente estudio se basa en los desafíos climáticos por los cuales atraviesa el municipio de Vianí, el cual se caracteriza por un clima con temperaturas entre 15°C y 24°C y una humedad relativa del 79%, que impactan de manera directa en la productividad agrícola, especialmente en cultivos sensibles como el tomate. Las fluctuaciones climáticas, incluyendo cambios abruptos de temperatura, pueden generar pérdidas significativas en la producción. (Paredes Zambrano, 2009).

Del mismo modo, el desconocimiento tecnológico de acuerdo con la investigación de Prieto, la tecnificación en el riego de cultivos en la región es limitada debido al desconocimiento de los métodos eficientes que ofrece la automatización agroindustrial. Este vacío tecnológico representa una oportunidad para implementar sistemas avanzados que mejoren la gestión del agua y optimicen el rendimiento de los cultivos. (Prieto Poveda, 2019).

Así como, la necesidad de eficiencia en el riego debido a la información proporcionada por el agricultor Víctor Muñoz, donde se indica que el suministro de agua se realiza de manera manual, ajustándose a cambios climáticos. La implementación de un sistema de riego automatizado optimizará el uso del agua y permitirá una distribución más precisa y eficiente,

adaptándose a las necesidades específicas de cada planta y mitigando las pérdidas por fluctuaciones climáticas.

Por otra parte, considerando el potencial irrigable de Colombia y la escasa implementación de sistemas de riego, la propuesta para la finca El Porvenir no solo aborda una necesidad local, también contribuye al desarrollo sostenible del sector agrícola en la región. La adopción de tecnologías avanzadas puede impulsar la productividad y eficiencia de manera significativa. (Ministerio de agricultura y desarrollo rural, 2020)

También, la implementación de la agroindustria 4.0 para los sistemas de riego representa una evolución significativa en el sector agrícola, fusionando tecnologías avanzadas con las prácticas tradicionales de los productores. Al adoptar herramientas como sensores remotos, imágenes aéreas, monitoreo satelital y automatización inteligente, se logra mejorar la eficiencia, la productividad y la sostenibilidad en la producción agrícola. (Corporación colombiana de investigación agropecuaria, 2021).

Consecuentemente, la clave de la agroindustria 4.0 no solo radica en la adopción de tecnologías avanzadas, sino también en la combinación de estas herramientas con el conocimiento tradicional de los agricultores. Es fundamental capacitar a los productores en el uso de estas tecnologías para optimizar su aplicación y maximizar los beneficios en la producción agrícola.

El resultado es una agricultura más inteligente, eficiente y sostenible que puede satisfacer las demandas de una población en crecimiento, al tiempo que minimiza el impacto ambiental y optimiza el uso de recursos como el agua y los fertilizantes. (Corporación colombiana de investigación agropecuaria, 2021).

Finalmente, se evidencia una tendencia a la baja en la asignación de recursos para la investigación del desarrollo rural en Colombia. La falta de inversiones y la ausencia de capacitación adecuada limitan el acceso de los agricultores a prácticas agrícolas modernas y

eficientes. La implementación de un sistema de riego automatizado en la finca El Porvenir podría demostrar la viabilidad y beneficios de estas tecnologías en entornos rurales.

La propuesta de introducir un sistema de riego automatizado se justifica en la necesidad de superar los desafíos climáticos, aumentar la eficiencia en el uso del agua, el crecimiento sostenible y suplir la carencia de recursos para la investigación del desarrollo agrícola de la región. Esta iniciativa no solo beneficiará al agricultor y su finca, sino que servirá como referencia para futuras implementaciones en la comunidad y contribuirá al avance tecnológico y productivo del sector en el municipio de Vianí.

3 Objetivos

3.1 Objetivo General

Proponer la optimización de un sistema de riego para el cultivo de tomate en la Finca El Porvenir, mediante la aplicación de tecnologías de la Industria 4.0, como mejora de la eficiencia hídrica, la productividad y buenas prácticas agrícolas sostenibles en el Municipio de Vianí, Cundinamarca.

3.2 Objetivos Específicos

- Analizar el rendimiento y eficiencia del sistema de riego por goteo, con el cual cuenta en la actualidad la Finca El Porvenir, a través de la medición del consumo de agua, identificando los posibles desperdicios y deficiencias en este tipo de distribución.
- Seleccionar los componentes y dispositivos necesarios, considerando la topografía de la finca, la capacidad del cultivo y la disponibilidad de recursos.
- Desarrollar un diseño detallado para la implementación de un sistema de riego automatizado mediante PLC, teniendo en cuenta las necesidades específicas del cultivo de tomate en la Finca El Porvenir.
- Evaluar el rendimiento del sistema comparando el consumo de agua, la uniformidad de la distribución y el crecimiento de los cultivos con el sistema actual.

4 Marco Referencial

4.1 Estado del arte

De acuerdo con las investigaciones realizadas y los proyectos consultados, en cuanto a sistemas de riego automatizado en cultivos agrícolas, el recurso hídrico es necesario para el crecimiento de los diferentes cultivos y dependiendo del producto a adquirir, este tiene una necesidad específica en cuanto a cantidades de agua, siendo un proceso de gran importancia a tener en cuenta para el cultivador, como se plantea en la tesis realizada por Valerie Cortes y Marco Vargas para la Universidad Católica de Colombia, sobre el *“diseño e implementación de un sistema de riego automatizado y monitoreo de variables ambientales mediante IOT en los cultivos urbanos de la fundación mujeres empresarias marie poussepin”*, “el efecto positivo de los sistemas de riego se ve directamente reflejado tanto en el ámbito social como económico, ya que genera empleo y la posibilidad a las personas de obtener productos provenientes de cultivos de alta calidad para así aumentar sus posibilidades de ingreso al mercado” (Cortes Cadavid & Vargas Garcia, 2020).

Desde el punto de vista de los autores Daniel Gutiérrez, Paul Muñoz y Arturo de la Universidad Ricardo Palma, según su estudio de *“Automatización de un sistema de riego agrícola por técnica de goteo y aspersión”*, del cual la salida de agua se controla con un circuito de control aplicado a un actuador electromecánico, aportando a la eficiencia de consumo de agua y alternativa al problema de escasez, deducen esta alternativa como eficaz en un sistema de riego por goteo donde los cultivos agrícolas permanecen constantemente la humedad obteniendo los nutrientes de los suelos y generando su óptimo desarrollo. (Muñoz, Gutierrez, & Suarez, s.f.)

De acuerdo con Toro, Carlos Mario en el proyecto de grado para la Universidad tecnológica de Pereira sobre el *“control automatizado para el riego en el cultivo de tomates”*, la humedad del cultivo para tomate no debe pasar el 70% para lo cual el sistema de riego debe tener un control de humedad entre 0 y 199 centibares para que las plantas no desarrollen hongos,

podrición del fruto o la raíz muera por falta de agua, por medio del sensor que enviará toda la información al microcontrolador para que un operario pueda saber en qué estado se encuentra esta variable. (Toro, 2016)

Es indispensable tener en cuenta la frecuencia de riego y la selección de tipo de aspersores o goteros para el cultivo de tomate y los factores de la pendiente del terreno calidad del suelo y agua por lo cual es importante el estudio del terreno y factores de calidad de los materiales para la construcción del sistema de riego, según Luis Carlos Arciniegas Remolina en su tesis "*desarrollo de un prototipo a escala para un sistema de riego y fumigación automatizado de cultivo de tomate mediante el uso de un autómatas programable operado a través de una interfaz hmi*", la tubería de riego y fumigación para el cultivo de tomate que cumpla con calidad y bajos costo es el polietileno de alta densidad la cual maneje a nivel de tolerancia a la corrosión y resistencia mecánica.

Otro autor Pablo E. Demin destaca los aportes del mejoramiento del manejo de los sistemas de riego en cultivos agrícolas, el objetivo del sistema es lograr ser lo más eficiente posible, cada método tiene características, ventajas y desventajas para la disposición de agua que genera la humedad en el suelo y pueda ser absorbida con facilidad por las plantas. La eficiencia del riego es reducir la pérdida del agua por esto el autor enfatiza la importancia de escoger los tipos de riego para lograr minimizar las pérdidas y de herramientas como la topografía y la filtración para escoger el sistema. (Demin, 2014).

La tecnología en el sector agrícola aporta a la productividad, facilitando las tareas al campesino y la calidad del producto, esta ha evolucionado desde hace más de 30 años en los proyectos donde se enfoca el funcionamiento hidráulico y reducción de los costos de inversión, hoy se utilizan diferentes programas como por ejemplo CAD, a sistemas expertos y de apoyo para la toma de decisiones, análisis multicriterio para optimizar los recursos en herramientas, servicios y buen funcionamiento según lo plantea en su proyecto de investigación para la

Universidad Técnica de Lisboa, Portugal, Luis Santo Pereira, José Arturo de Juan Valero, María Raquel Picornell Buendía y José María Tarjuelo Martin Benito para optar al título de Ingenieros Agrónomos. (Santos Pereira, De Juan Valero, Pirconell Buendia, & Tarjuelo Marin Benito, 2010)

De acuerdo con Gavilanes Pilco Alex Damián en su trabajo de opción de grado para optar al título de Ingeniero Industrial, plantea la “optimización del sistema de riego usando agricultura 4.0 para el cultivo de fresas en la asociación de campesinos de Miñarica”, destaca que se debe acelerar la integración de actuadores y sensores en las varias máquinas y etapas del sistema productivo que ofrecerá beneficios en los cultivos disminuyendo costos e incrementando ingresos. (Gavilanes Pilco, 2022)

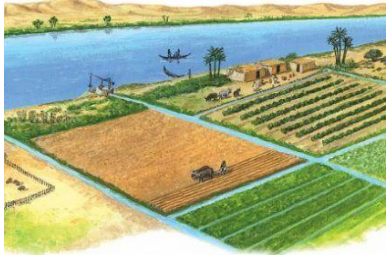
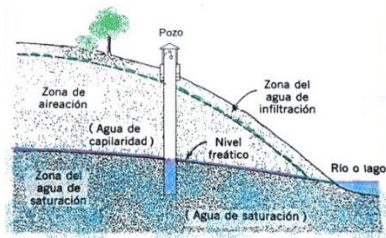

Los autores Ortiz Alejandro, Rey Juan, Solano Javier, Quirigua Oscar, Gómez Jonathan y Rubio Felipe en su trabajo de investigación, Diseño de un sistema IIoT de un vivero para la formación de profesionales en competencias de la industria 4.0, indican que la industria buscan alternativas para aumentar la producción, con soluciones a situaciones complejas como las zona de cultivos e implementación de mecanismos para disminuir pérdidas del producto final debido al cambio climático, y las plagas que pueden presentarse en las plantas. “La tecnología puede incluso ir más allá de aumentar la producción y mejorar los procesos mediante todas las posibilidades que ofrecen las técnicas de la cuarta revolución industrial (Industria 4.0), combinando estrategias de automatización y digitalización”. (Ortiz Alejandro, 2023)

4.2 Marco Histórico.

Los datos mostrados a continuación presentan las líneas de tiempo involucradas en cuanto al desarrollo y evolución que han tenido los sistemas de riego a través de los años.

Tabla 1

Línea del tiempo marco histórico

EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS DE RIEGO		
AÑO	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
6.000 a.C	Los agricultores de Egipto descubrieron que, al construir terraplenes y diques a lo largo del Nilo, los favorecía de manera óptima y podían llegar a cultivar en mayor cantidad, ya que se retenía de buena manera las aguas crecientes. (Grupo Chamartin, 2022)	<p>Figura 6 <i>Cultivo de Egipto</i></p>  <p><i>Nota:</i> Tomado de Chamsa. (Grupo Chamartin, 2022)</p>
550 a.C	El desarrollo del Qanat (Kareze en Mesopotamia) permitió que el agua subterránea fuera la principal fuente de riego de los pueblos. (Costa. L, 2022)	<p>Figura 7 <i>Aguas subterráneas</i></p>  <p><i>Nota:</i> Tomado de A. N. Strahler, Geografía Física, 3ra Edición, 1983.</p>
1926	Se inician los denominados “Proyectos de Riego Público”, y es cuando la empresa Electroaguas empieza la construcción de algunos sistemas de adecuación de tierras de los valles del Alto Chicamocha, Firavitoba y Samacá, Fúquene - Cucunubá en Boyacá y Cundinamarca haciendo un aprovechamiento de tierras en todo el territorio colombiano. (Corporacion Autonoma Regional, 2010)	<p>Figura 8 <i>Proyectos de distritos de riego</i></p>  <p><i>Nota:</i> Tomado de Gobernación de Boyacá.</p>

1933	Rain Bird lanzó el primer aspersor de impacto (que fue comparado con la bombilla de Thomas Edison y el teléfono de Alexander Gram Bell). (Costa. L, 2022)	Figura 9 <i>Aspersor Rain Bird</i>		Nota: tomado de Hidrosmart
1961	Cuando las Corporaciones Autónomas Regionales y el Instituto Colombiano de la Reforma Agraria (INCORA) fueron encargadas de la adecuación de tierras en el país, se incrementó la inversión pública, lo que permitió que se construyeran 14 distritos de riego y drenaje en Colombia.	Figura 10 <i>Reforma Agraria</i>		Nota: tomado de Archivo Centro de Información Periodística CIP
1974	Fue asignado el Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras (HIMAT) para esta labor, que luego transfirió este manejo a las diferentes asociaciones de usuarios ya existentes			
1994	Fue creado el Instituto Nacional de Adecuación de Tierras, (INAT), entidad que continuo con la política de transferencia a las asociaciones de usuarios, así como el programa de riego a pequeña escala iniciado por el HIMAT.	Figura 11 <i>Instituto Nacional de Adecuaciones de Tierras</i>		Notas: tomado de Uniamazonia
2003	A partir de este año la gestión de los principales sistemas de riego del país, pasa a mano del Instituto Colombiano de Desarrollo Rural, (INCODER), donde se han estructurado los tres (3) proyectos más nuevos del país: Distrito de riego el Triángulo del Tolima; Distrito de Riego del Ranchería en la Guajira y el Distrito de Riego Tesalia – Paicol en el Huila.			

Actualmente

La principal innovación relacionada con los sistemas de riego que ha aportado el siglo XXI es la de la implementación de nuevas tecnologías para hacer los procesos más eficiente y sostenibles, como por ejemplo la Agricultura 4.0 la cual busca soluciones tecnológicas para la digitalización de cada uno de los procesos de riego mediante la recolección de datos procedentes al campo y el recibimiento de información para la toma de decisiones en tiempo real. (Ethic. 2023)

Figura 12
Agricultura 4.0



Notas: Tomado de BioActiva

4.3 Marco Teórico

4.3.1 Cultivo de tomate

En Colombia en el año 2013 se cultivaron 6.867 hectáreas, en donde 4.161 son cosecha de tomate y se obtuvo una producción de 175.706 toneladas. Según información del DANE en su boletín mensual del año 2014 el departamento con mayor producción de tomate es Boyacá seguido de Cundinamarca, donde se realiza una descripción de las condiciones necesarias para el manejo correcto del cultivo de tomate en Colombia, también se describe el tomate de mesa *Lycopersicum esculentum* como una planta de la familia de las solanáceas, existe una derivación de varias especies y variedades y su origen se extiende desde Chile hasta Colombia.

La cantidad de agua que se debe implementar en este tipo de cultivos depende de las condiciones climáticas, el suelo y la pendiente del terreno, para el riego en el tomate se realiza periódicamente manteniendo un adecuado suministro de agua en cada planta, se recomienda para los cultivos bajo invernadero implementar un sistema de riego por goteo para ahorrar recursos hídricos y optar un sistema de riego eficiente (DANE, 2014).

4.3.2 El riego.

Es la aplicación agua artificial suministrada a un terreno determinado para llevarlo a una recuperación de humedad, esto la provecha las plantas permitiendo así que se desarrollen correctamente.

Con el tiempo la humanidad creó sistemas de riego eficientes para cuidar los recursos hídricos e implementación de abonos e insecticidas para el desarrollo de cultivos, se dan a conocer cuatro sistemas de riego: riego por goteo, riego por aspersión, riego por microaspersión y sistema de riego por gravedad (Tapia Cadena, 2014).

Figura 13

Sistemas de riego



Nota: tomado Aplicación de riego: 27.6% de la superficie sembrada en 2016, es de riego de Gobierno de México, 2016 (Gobierno de Mexico, 2016)

4.3.3 Sistema de riego por goteo.

Los sistemas de riego por goteo tienen la función de suministrar agua a través de una red de tuberías las cuales llegan a los cultivos por medio de emisores que entregan pequeños volúmenes del líquido de manera periódica, es un sistema presurizado en conductos cerrados que requieren de presión, los agrónomos los denominan riegos localizados debido a que se ubican en lugar específico del suelo y el agua se aplica en forma de gotas (Liotta, 2015).

4.3.4 Sistema de riego por aspersión.

Los sistemas de riego por aspersión pretenden distribuir uniformemente el agua en las plantas mediante ramales, tienen un pivote situado en el aspersor que rota alrededor de una

base, sus tiempos de riego varían o la velocidad de desplazamiento y así suministrar homogéneamente el riego (Organización de las Naciones Unidas, s.f.).

4.3.5 Sistema de riego por microaspersión.

Este sistema de riego suministra agua a los cultivos simulando una lluvia artificial, la aspersión se aplica a cada planta y se deben suministrar adecuadamente para evitar reposos y/o escurrimiento de agua. El microaspersor riega en un espacio amplio y uniforme en la zona donde se encuentra la planta o árbol frutal. Este tipo de riego es un sistema integrado caracterizado en distribución de agua fija que realizan aportes hídricos en pequeños en lugares determinados del cultivo (Flacso Andes, 2013)

4.3.6 Sistema de riego por inundación.

El sistema de riego por inundación deja agua distribuida en un terreno inundándolo por completo o por partes del suelo extendiéndose por las parcelas o canales de cultivo, este tipo de sistema se subdivide en:

- a) Inundación en una superficie total
- b) Inundación parcializada o por surcos.

La adaptación de este tipo de sistemas es buena para los cultivos que permitan una inundación total, la cual acumula el agua en los canales dirigiéndola alrededor de las raíces de las plantas. (Organización de las Naciones Unidas, s.f.)

4.3.7 Riego automático programado.

Es un concepto desarrollado para buscar mejoras en el ámbito de aplicación de agua en cultivos, teniendo en cuenta momentos óptimos y adecuados para las plantas, el riego automático programado se diseñó para controlar variables determinadas e importantes para ayudar al desarrollo y aumento productivo basándose en las necesidades de aporte de agua realizadas en periodos determinados.

Figura 14*Sistema riego para invernaderos*

Nota: Tomado de Sistemas de Riego, MundoInvernaderos. (MundoInvernadero, s.f.)

4.3.8 Cultivos bajo invernadero.

Los cultivos bajo invernadero favorecen a las plantas en determinados factores climáticos como son la protección contra el viento, aumento de la superficie foliar, reducción del consumo de agua y aumento de temperatura. El manejo adecuado de este tipo de cultivos aporta un desarrollo equilibrado de la planta y un aumento de la producción, pero los costos de implementación tiende a ser elevado (Instituto canario de investigaciones agrarias, 2002).

4.3.9 Protección de los cultivos.

Según información encontrada en Agropinos, los beneficios de los invernaderos para los cultivos se basan en la protección y suministros por sistemas de riego constante, no tiene afectación por situaciones ambientales, evitando los daños ocasionados por heladas y sequías que ayuda a mitigar pérdidas totales de cultivos. (Agropinos, 2017)

Según expertos, los cultivos bajo invernadero tienen mayor nivel nutricional, tiene la facilidad de controlarse y manipularse de acuerdo con la necesidad para beneficio y desarrollo

de cada planta, por otro lado, el sistema de riego agiliza el procesos de crecimiento, con una disminución de tiempo del 60% frente a los cultivos al aire libre. Este tipo de implementación favorece al medio ambiente por reutilizar el agua que no es absorbida por la planta y usarla para nuevos riegos o demás labores, el éxito de estos cultivos depende del diseño y construcción que tenga los invernaderos, por esta razón se deben utilizar elementos con amplia resistencia (Agropinos, 2017).

4.3.10 Automatización de invernadero para producción agrícola.

Paulo Rincón, Jesús Silva y Alejandro Torres en su informe sobre la automatización de invernaderos, analizan la creación de proyectos basados en el ahorro considerable de agua y medios utilizados para el riego de las plantas, estos sistemas recolectan variables físicas de un invernadero mediante microcontroladores conectados a un dispositivo móvil los cuales puede transmitir variables a través de indicadores o datos (Rincon Vieda, Silva Plazas, & Torres Camacho, 2016)

En Colombia se realizó un proyecto sobre la automatización de riego para cultivo de flores, se implementó un módulo de transmisión RF (el transmisor electrónico de RF es un dispositivo que transmite información en forma de ondas electromagnéticas a grandes distancias), la cual se programa por el operario del invernadero o por la adquisición de datos de medición de la humedad del suelo. El diseño se basa en la búsqueda de señales con microcontroladores que llegan vía RF a una estación donde se supervisan las variables mediante una herramienta computacional (Rincon Vieda, Silva Plazas, & Torres Camacho, 2016)

4.3.11 Conceptos generales de hidráulica y de riego

La hidráulica es partes de la mecánica que se encarga de estudiar el equilibrio y movimiento de los fluidos para conseguir una circulación del agua, es necesaria la existencia de una cantidad de líquido que se denominaría caudal, una fuerza de impulso llamada presión y la sección que vendría a ser la tubería para trabajar.

4.3.12 Caudal

Se define caudal como la cantidad de líquido que fluye por tubería o conducción en un tiempo determinado. El caudal esta dado en función del área y la velocidad (Aquino, R & Ruiz, R. 2012).

$$Q = A \cdot v$$

Donde:

A = Área del ducto o tubo.

v = Velocidad en la que circula el fluido.

4.3.13 Fuerza

La fuerza es producto de la masa por la aceleración. Para considerar la fuerza que el fluido genera dentro de la tubería se debe tomar en cuenta lo siguiente (Aquino, R & Ruiz, R. 2012):

$$F = \rho v^2 L^2$$

Donde:

ρ = Densidad

v = Velocidad

L = Longitud de la sección analizada

4.3.14 Presión

La presión está dada en función de la fuerza y el área y se refiere a la fuerza que se ejerce sobre una unidad de área determinada. (Aquino, R & Ruiz, R. 2012)

$$P = \frac{F}{A} = h \cdot \gamma$$

Donde:

γ = Peso específico

h = Altura

P = Presión

F = Fuerza ejercida por el fluido

A = Área de la sección

4.3.15 Número de Reynolds

El número de Reynolds es usado para determinar el tipo de flujo que circula por una tubería ya sea turbulento o laminar, el Reynolds está definido por la siguiente ecuación (Aquino, R & Ruiz, R. 2012)

$$Re = v \cdot \frac{D}{\nu}$$

Donde:

v = Velocidad del fluido

D = Diámetro interno de la tubería

ν = Viscosidad cinemática

4.3.16 Ecuación de Bernoulli

La ecuación de Bernoulli tiene presente los cambios en la carga de elevación, presión, velocidad entre dos puntos en un sistema de flujo de fluidos. Se entiende que no hay pérdidas y que la carga siempre se mantiene constante. (Aquino, R & Ruiz, R. 2012)

$$\frac{P1}{\gamma} + z1 + \frac{(v1)^2}{2g} = \frac{P2}{\gamma} + \frac{(v2)^2}{2g} + z2$$

Donde:

$\frac{P}{\gamma}$ = Energía del flujo

z = Energía potencial

$\frac{v^2}{2g}$ = Energía cinética

Los subíndices indican las posiciones de donde se analizan.

4.3.17 Potencia

Se determina la potencia como la rapidez con la que se transfiere la energía de la bomba al fluido y está dada por la siguiente ecuación (Aquino, R & Ruiz, R. 2012):

$$P_A = H_A y Q$$

Donde:

H_A = Energía piagregada

y = Peso específico del fluido

Q = Caudal

4.3.18 Evotranspiración

El cálculo de la Evapotranspiración (ET) es fundamental para determinar la cantidad de agua que las plantas necesitan en un área específica durante su ciclo de crecimiento. La ET representa la pérdida de agua del suelo por evaporación directa y por la transpiración de las plantas. Calcularla con precisión es crucial para diseñar sistemas de riego eficientes y proporcionar a las plantas la cantidad adecuada de agua, evitando tanto el estrés hídrico como el desperdicio de recursos hídricos. Se utilizan diversas fórmulas y métodos para estimar la ET, incluyendo mediciones meteorológicas y características del cultivo y del suelo. (SIAR, 2022).

El método teórico más sencillo que se puede realizar es por el método Blaney-Criddle, el cual se expresa de la siguiente manera:

$$f = p(0.46 t + 8.13)$$

Donde:

f = *factor de Blaney – Criddle*

p = *horas de luz expresadas en porcentaje anual de acuerdo con la latitud del lugar*

t = *temperatura del lugar*

Conocida la evotranspiración de potencial del lugar, se procede a conocer la evotranspiración del cultivo que se define como:

$$ET_C = ET_0 * K_C$$

Donde:

ET_C = evotranspiración del cultivo

ET_0 = evotranspiración del cultivo

K_C = coeficiente del cultivo

4.3.19 Intervalo de riego

Es un criterio de riego convencional que consiste en regar cada vez que se ha agotado un porcentaje de humedad aprovechable del suelo, dicho intervalo se expresa como:

$$I_r = \frac{L_d}{ET_C}$$

Donde:

L_d = lamina disponible

ET_C = Evotranspiración del cultivo

4.3.20 Lamina disponible

Es la capacidad de almacenamiento de agua teniendo en cuenta las características retentivas del suelo, dicha capacidad se expresa:

$$L_d = H_d * \rho_a * Pr$$

Donde:

H_d = Capacidad de campo – punto de marchitez

ρ_a = desidad aparente

Pr = profundidad de raices del cultivo

4.3.21 Tiempo de riego

Es el tiempo que se emplea para realizar el riego, esta medida se da en horas y se expresa como:

$$T_r = \frac{L_d}{L_{asp} * \eta_{riego}}$$

Donde:

L_d = lamina disponible

L_{asp} = lamina de aspersor

η_{riego} = eficiencia esperada de riego

4.3.22 Turnos de riego

Se determina cuantos turnos de riego se estiman para cumplir con la necesidad hídrica de toda el área cultivada, se determina de la siguiente manera:

$$Turno_{dia} = \frac{T_{disponible}}{T_r}$$

Donde:

$T_{disponible}$ = tiempo disponible deseado de riego

T_r = tiempo de riego

4.4 Marco Conceptual

4.4.1 Riego por goteo.

Los sistemas de riego por goteo permiten transportar el agua en redes de tuberías o mangueras y aplicarlas a cultivos mediante pequeños goteros que suministra agua en volumen muy pequeño y periódicamente. (INTAGRI, s.f.)

4.4.2 Riego por microaspersión.

Están diseñados para regar con gotas de agua muy finas, tienen un deflector giratorio, llamado roto o bailarina, que proporciona un diámetro de cobertura mayor, mediante sistemas de tuberías que se extiende a lo largo del cultivo. (Guerrero Moro, Escalona Mendoza, & Tapai Hernandez, 2018)

4.4.3 Riego automatizado.

El riego automatizado es un sistema construido para distribuir agua a las plantas, controlados por parámetros previamente definidos, mediante sistemas de aspersión como microaspersión o goteo (Maher Smart Agrocontrollers, s.f.)

4.4.4 Sensor.

Los sensores son dispositivos electrónicos con la capacidad de medir magnitudes físicas de temperatura, iluminación, humedad, movimiento, presión, entre otros; y capaz de convertir el valor medido en una señal eléctrica analógica o digital para su posterior procesamiento. (PrototipadoLAB, 2018)

- **Sensores de temperatura:** Se usan para medir la temperatura de una superficie, del aire o de un cuerpo (S&P blog de ventilacion eficiente, 2017).

4.4.5 IoT (Internet de las cosas).

El internet de las cosas crea una conexión o red entre diferentes dispositivos, compartiendo información y almacenarla en las diferentes bases de datos creadas, para tener un control y acceso a la información desde cualquier parte del mundo. (Cortes Cadavid & Vargas Garcia, 2020)

El concepto de Internet de las cosas (IoT, por sus siglas en inglés) se ha vuelto fundamental en la industria en los últimos años. La integración de la tecnología IoT en los procesos industriales ha permitido una mayor eficiencia, productividad y calidad en la producción.

Uno de los usos más comunes del IoT en la industria es la monitorización y control remoto de los sistemas de producción. Mediante sensores y dispositivos conectados a la red, es posible obtener datos en tiempo real sobre el rendimiento de las máquinas y equipos, detectar posibles fallos o anomalías y tomar medidas preventivas o correctivas de manera inmediata.

Además, gracias a la conectividad en red, es posible recopilar grandes volúmenes de datos y analizarlos para obtener insights valiosos sobre los procesos de producción. Esto permite una mayor optimización de los recursos, reducción de costos y toma de decisiones más informadas.

Otro aspecto importante del IoT en la industria es la creación de productos y servicios inteligentes. Por ejemplo, se pueden desarrollar productos con sensores incorporados que permitan un seguimiento del uso y rendimiento de los mismos, y proporcionen información relevante para mejorar su diseño y funcionamiento.

Asimismo, el IoT también está presente en la cadena de suministro y logística de la industria. La utilización de sensores en los envíos y embalajes permite un seguimiento en tiempo real de la ubicación y estado de los productos, evitando extravíos o daños durante el transporte.

En resumen, el IoT ha revolucionado la industria al proporcionar una mayor conectividad y control sobre los procesos de producción, facilitar el análisis de datos para la toma de decisiones y permitir la creación de productos y servicios inteligentes. Esto ha llevado a una mayor eficiencia y competitividad en el sector, transformando la forma en que se llevan a cabo las operaciones industriales. (Buton, 2020)

4.4.6 *Sistemas de control automático.*

El principal objetivo de los sistemas de control y de regulación automática es el estudio de un proceso para determinar ciertos parámetros de los cuales se realizan ciertas acciones para lograr resultados esperados. (Cortes Cadavid & Vargas Garcia, 2020)

4.4.7 *Utilización de IOT para recolección de datos.*

En la agricultura de precisión se utilizan diferentes sensores para medir variables ambientales (humedad relativa, temperatura del aire, humedad y temperatura del suelo, luminosidad, pH, dirección del viento, concentraciones de CO₂, entre otros.). La recolección de

este tipo de información sirve para la toma de decisiones y acciones tales como aplicar los fertilizantes, activar el sistema de riego, encender los sistemas de enfriamiento, entre otros. (Cortes Cadavid & Vargas Garcia, 2020).

4.5 Marco Técnico.

4.5.1 Selección de equipos

Al identificar la necesidad del agricultor y el terreno a trabajar se procede a investigar el tipo de elementos electrónicos que se adaptan mejor a la problemática encontrada y se establecen los sensores acordes a la funcionalidad de la investigación.

Tabla 2

Matriz de Selección de Equipos

MATRIZ DE SELECCIÓN DE COMPONENTES					
COMPONENTE	TIPO	MARCA	CARACTERISTICAS	COSTO	
	PLC	Schneider	Schneider Electric	16 entradas/salidas, 7 salidas de relé, 100...240 V CA	\$ 731.183
PLC MODULAR	PLC LOGO!	SIEMENS	Módulo lógico, pantalla PS/I/O, memoria 400 bloques, modular ampliable, servidor web integrado Ethernet, registro de datos, usuario páginas web definidas, tarjeta microSD estándar para LOGO! Soft Comfort V8.3 o superior, conexión a la nube ejecutable para proyectos	\$ 474.409	

antiguos en todos los LOGO! 8.3
unidades básicas

PLC COMPUESTO	PLC SR2B122BD	Schneider Electric	Relé inteligente compacto Zelio Logic - 12 IO - 24 V DC - reloj - pantalla	\$	516.129
	PLC 6ES7211- 1AE40-0XB0	SIEMENS	SIMATIC S7-1200, CPU 1211C, CPU compacta, DC/DC/DC, periferia integrada: 6 DI 24 V DC; 4 DO 24 V CC; 2 AI 0-10 V CC, Fuente de alimentación: CC 20,4- 28,8 V CC, Memoria de programa/datos 50 KB	\$	782.796
SENSORES	SENSOR DE NIVEL A2 102	Generico	Voltaje nominal 110V / 220V / 250 VAC, Corriente Maxima 15 (5) A: 15 (8) A Temperatura de funcionamiento: 50°C Frecuencia 50-60Hz	\$	162.000
	SENSOR XX630A1PCM12	Schneider Electric	Sensor ultrasónico cilíndrico M30 - Sn 1 m - NC + NA - conector M12 Rango de detección 80 ... 2000 mm Rango de ajuste 120 ... 2000 mm Zona ciega 0 ... 80 mm	\$	1.247.313
	UC2000-30GM- IUR2-V15	Generico		\$	2.100.000
	FTC260-AA4D1		Rated voltage 220~240 Load power 10W Sensing distance 5cm	\$	3.524.447
BOMBAS	Bomba Centrifuga	Evans	Ahorro de energía eléctrica. Abastecimiento de agua. Protección térmica. Durable por su material de hierro fundido Cuerpo de bomba en acero inoxidable AISI 304 Soporte de bomba en aluminio Impulsor centrífugo cerrado en acero inoxidable AISI 304 Eje en acero inoxidable AISI 304 Máxima temperatura del líquido: 40°C Capacidad de succión a nivel del mar: 9 m Sello mecánico en cerámica y grafito, con elastómero en NBR	\$	660.000
	Bomba Jet en Acero Inoxidable	Pearl	SERIE ROBUSTA, 1 HP, 1 F, 230 V, DESCARGA 2", ROBUSTA2/10/1230A	\$	530.000
	BOMBA SUMERGIBLE	Aqua Pak		\$	1.250.000

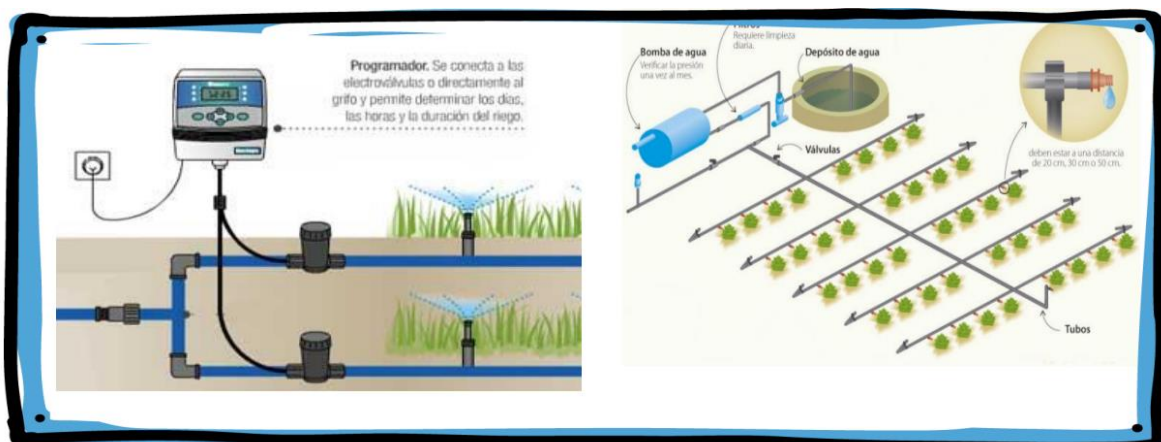
	Bomba Alto Caudal	Pearl	Cuerpo de bomba en hierro fundido Soporte de bomba en aluminio Impulsor centrífugo cerrado en ACERO INOXIDABLE Protección térmica incorporada para motores monofásicos hasta 2 hp. Eje en acero inoxidable AISI 304 Máxima temperatura del líquido: 60 °C Capacidad de succión a nivel del mar: 8 m Sello mecánico en cerámica y grafito, con elastómero en NBR	\$ 920.000
	HMI basado en texto	Delta	Ethernet, Ethernet remote, Remote, Digital Input Terminal de color PanelView 800 HMI de 7 pulgadas, pantalla ancha táctil TFT 800 x 480 WVGA, retroiluminación LED, conectores serie RS232 y RS422 / RS485 separados y (1) puerto Ethernet de 10/100 Mbps, host USB (USB 2.0), ranura microSD, Alimentación de 24 V CC, Microsoft Windows CE 6.0	\$ 425.413
	HMI 2711R-T7T	Allen Bradley	SIMATIC HMI, KTP400 Basic, Basic Panel, Manejo con teclado/táctil, pantalla TFT de 4", 65536 colores, Interfaz PROFINET, configurable a partir de WinCC Basic V13/ STEP 7 Basic V13, incluye software Open Source	\$ 2.150.540
HMI	HMI 6AV2123-2DB03-0AX0	SIEMENS		\$ 1.204.302

4.5.2 PLC en un sistema de riego

El uso de un PLC en un sistema de riego permite una gestión automatizada y eficiente del riego, optimizando el consumo de agua y mejorando el rendimiento de las plantas. Además, se pueden programar diferentes escenarios y horarios de riego, así como realizar ajustes en tiempo real según las condiciones cambiantes del entorno. (Cortes Valeria, Vargas Marcas, 2020).

Figura 15

Sistema de Riego con uso de PLC



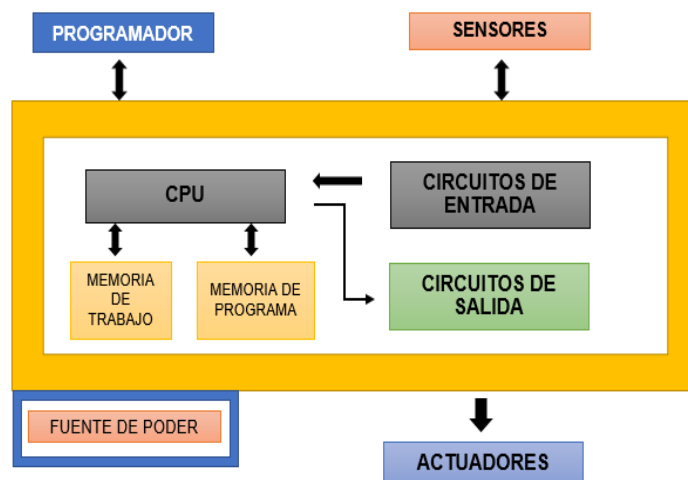
Nota: Automatización de un Sistema de Riego Agrícola por Técnica de Goteo

Se observa la estructuración de un sistema de riego aplicando dispositivo de control PLC y con él la conexión de electroválvulas que ayudaran al momento del accionamiento y paso del suministro hídrico al cultivo.

En la figura 15 se visualiza el diseño de PLC, su configuración y la manera como se interconecta la unidad central del procesamiento, con la memoria del programa y de trabajo.

Figura 16

Partes que comprenden una estructura con PLC.

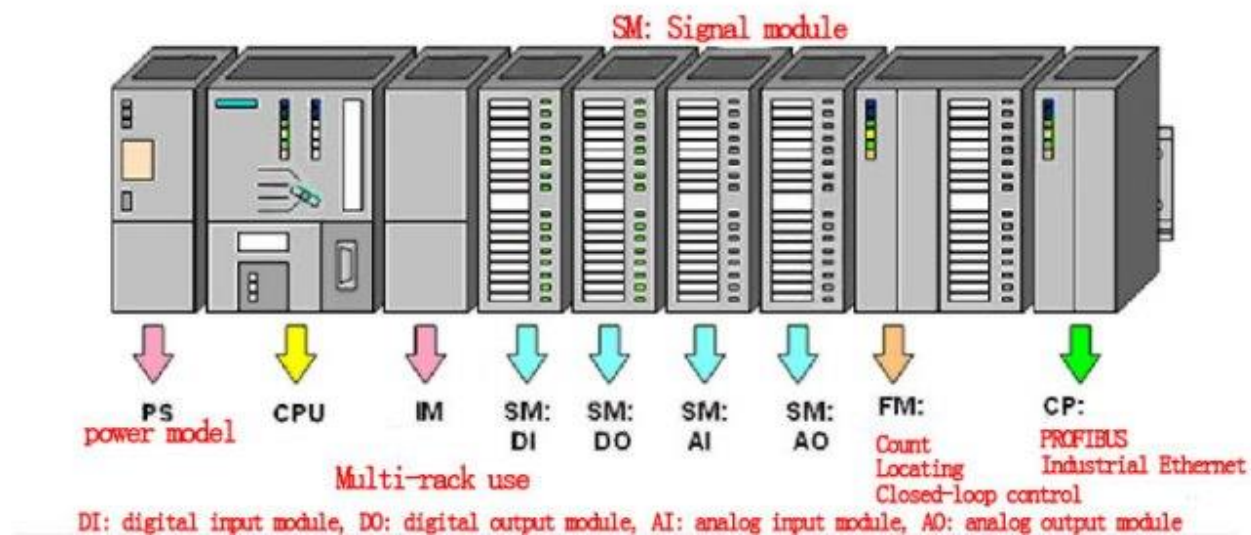


4.5.3 PLC modular

Un PLC modular es un controlador que se compone de módulos intercambiables y configurables, que permiten adaptar y ampliar el sistema según las necesidades específicas de la aplicación. Los módulos pueden incluir entradas y salidas digitales y analógicas, interfaces de comunicación, procesadores y memoria, entre otros. Este enfoque modular facilita la instalación, mantenimiento y actualización del sistema, además de permitir una mayor flexibilidad y escalabilidad. (Eaton, 2021).

Figura 17

PLC modular.



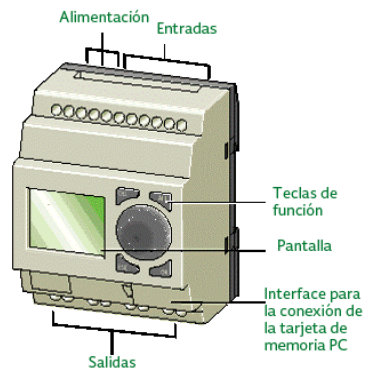
Fuente: Automatismo, 2011

4.5.4 PLC compacto

Un PLC compacto se refiere a un controlador lógico programable que tiene un tamaño reducido y está diseñado para su uso en aplicaciones donde el espacio es limitado. Los PLC compactos suelen tener una capacidad de entrada/salida más limitada en comparación con los PLC convencionales, pero son suficientes para controlar y monitorear procesos simples. Son fáciles de programar y configurar, lo que los hace ideales para su uso en aplicaciones industriales y automatización de maquinarias.

Figura 18

PLC compacto



Fuente: UNAM, 2021.

4.5.5 Tipos de sensores de nivel

Un sensor de nivel es un dispositivo utilizado para medir y controlar el nivel de líquidos o sólidos en un contenedor. Estos sensores pueden utilizar diferentes tecnologías para detectar el nivel, como sensores de presión, sensores ultrasónicos, sensores de nivel capacitivos o sensores de flotador. (Omega Engineering, 2023).

- **Los interruptores de flotador:** Son dispositivos utilizados para controlar el nivel de líquidos en diferentes aplicaciones. Consisten en un flotador que se mueve según el nivel del líquido y un interruptor que se activa o desactiva dependiendo de la posición del flotador.

Estos interruptores son comunes en bombas de agua, sistemas de alcantarillado, tanques de almacenamiento, calderas y otras aplicaciones donde el control del nivel de líquidos es importante. (Omega Engineering, 2023).

- **Sensor de nivel ultrasónico sin contacto:** Es un dispositivo utilizado para medir el nivel de un líquido o material sólido sin necesidad de tener contacto físico con él. Este tipo de sensor utiliza ondas ultrasónicas para determinar la distancia entre el sensor y la superficie del líquido o material. (Omega Engineering, 2023).
- **Sensor de nivel ultrasónico de contacto:** Es un dispositivo utilizado para medir el nivel de un líquido o un sólido a través de ondas ultrasónicas que hacen contacto con el material. Este tipo de sensor emite una señal ultrasónica hacia el material y luego detecta el tiempo que tarda en recibir el eco de esa señal. (Omega Engineering, 2023).
- **Sensor de nivel por capacitancia:** Es un dispositivo que utiliza principios capacitivos para medir el nivel de un líquido en un tanque o contenedor.
El sensor consiste en dos placas o electrodos de metal paralelos ubicados dentro del tanque, separados por un espacio aéreo o por el líquido. Cuando no hay líquido presente, la capacitancia entre los electrodos es baja. Sin embargo, cuando el líquido cubre parcial o completamente los electrodos, la capacitancia aumenta. (Omega Engineering, 2023).

4.5.6 Tipos de bombas.

Las bombas en sistemas de riego son utilizadas para hacer circular el agua desde la fuente de suministro hasta los puntos de riego en un sistema. Estas bombas se encargan de aumentar la presión del agua, permitiendo una irrigación eficiente y efectiva en áreas extensas. (Centro de investigación desarrollo tecnológico del agua, 2022).

Existen diferentes tipos de bombas utilizadas en sistemas de riego, como:

- **Bombas centrífugas:** Son las más comunes y se caracterizan por su estructura simple y eficiencia en la transferencia de agua. Estas bombas utilizan una rueda centrífuga para generar la presión necesaria. (Centro de investigación desarrollo tecnológico del agua, 2022).
- **Bombas de pistón:** Estas bombas utilizan pistones para generar presión y son ideales para sistemas que requieren una alta presión de agua, como el riego por goteo o aspersión. (Centro de investigación desarrollo tecnológico del agua, 2022).
- **Bombas sumergibles:** Son comúnmente utilizadas en sistemas de riego agrícolas o en áreas donde el suministro de agua se encuentra a gran profundidad. Estas bombas se sumergen en el agua y lo extraen a través de tuberías. (Centro de investigación desarrollo tecnológico del agua, 2022).
- **Bombas de turbina:** Estas bombas son adecuadas para sistemas de riego que requieren una alta capacidad de flujo de agua y una baja presión. Son ideales para riegos en áreas extensas, como campos de cultivo. (Centro de investigación desarrollo tecnológico del agua, 2022).

La elección de la bomba adecuada para un sistema de riego dependerá de varios factores, como el tipo de cultivo, el tamaño del área a regar, la distancia de la fuente de agua y la presión requerida. Es importante dimensionar correctamente la bomba para

asegurar un suministro de agua eficiente y óptimo para el riego. (Centro de investigación desarrollo tecnológico del agua, 2022).

4.5.7 HMI

El HMI es un dispositivo o sistema que permite la interfaz entre la persona y la máquina, estos sistemas de HMI modernos suelen consistir en pantallas táctiles, teclados virtuales, alertas y alarmas visuales y auditivas, gráficos y animaciones, entre otros elementos. Además, a través de la conexión a redes de comunicación industrial, como Ethernet o WiFi, pueden proporcionar acceso remoto a la máquina o proceso, lo que facilita la supervisión y control desde cualquier ubicación. (Automatización Industrial, Nievas Christian, 2020).

- HMI basado en texto: Este tipo de HMI utiliza exclusivamente texto para mostrar información y recibir comandos. Es simple y fácil de implementar, pero puede ser limitado en términos de capacidad de comunicación y experiencia del usuario. (Automatización Industrial, Nievas Christian, 2020).
- HMI gráfico: Utiliza elementos gráficos, como iconos, gráficos y botones, para mostrar información y permitir la interacción del usuario. Proporciona una interfaz más intuitiva y amigable para el usuario. (Automatización Industrial, Nievas Christian, 2020).
- HMI táctil: Este tipo de HMI se basa en pantallas táctiles que permiten a los usuarios interactuar directamente con la interfaz mediante gestos y toques en la pantalla. Es comúnmente utilizado en dispositivos móviles y tabletas.
- HMI de realidad aumentada: Combina elementos gráficos virtuales con la vista en tiempo real del entorno físico. Permite una interacción más inmersiva y facilita la comprensión de información compleja. (Automatización Industrial, Nievas Christian, 2020).

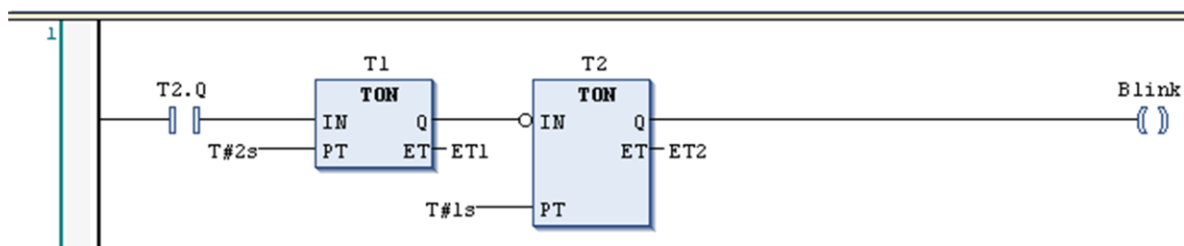
- HMI de realidad virtual: Utiliza entornos virtuales para proporcionar una experiencia de interacción completamente inmersiva. Es utilizado en aplicaciones como la simulación de entrenamiento y la realidad virtual juegos. (Automatización Industrial, Nievas Christian, 2020).
- HMI de voz: Utiliza reconocimiento de voz para permitir a los usuarios interactuar con la máquina o sistema a través de comandos de voz. Puede ser útil en entornos donde las manos están ocupadas o en situaciones donde se desea una interacción sin contacto. (Automatización Industrial, Nievas Christian, 2020).

4.5.8 Lenguaje de programación PLC (LD)

Este lenguaje de programación tiene como función principal la activación de interruptores y relés mecánicos como control de procesos en la industria, es uno de los lenguajes más comunes.

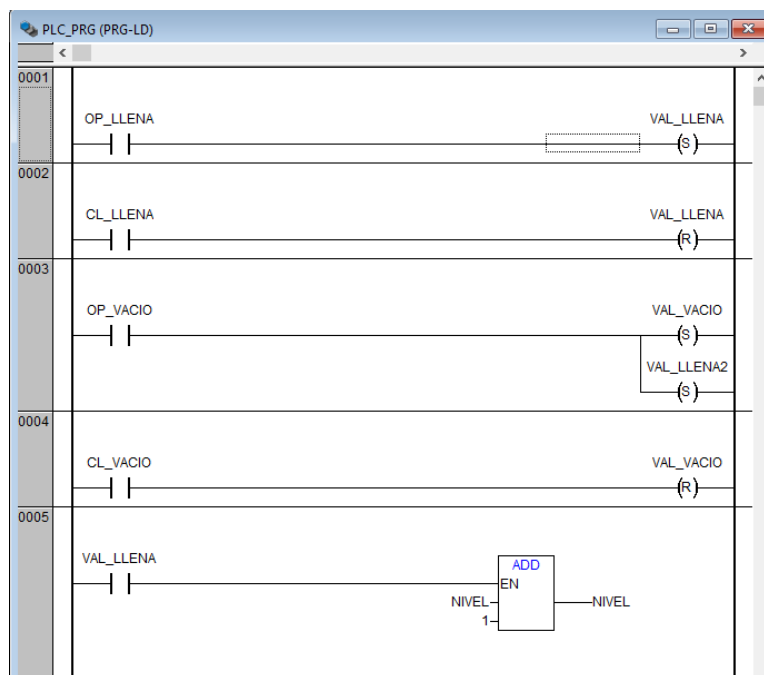
Figura 19

Red de diagrama de contactos.



Nota: Tomado de Schneider Electric, 2019

El Lenguaje de programación más habitual para la programación de PLC es a través de Ladder, siendo uno de los más populares gracias a su semejanza con los diagramas eléctricos que se usan de manera habitual para los tableros de control

Figura 20*Lenguaje Ladder*

4.6 Marco Legal.

El anteproyecto recolecta normas del sector agrícola, marco jurídico de ordenamiento territorial y la normatividad legal de apoyo y fomento para mejorar la producción de cultivos en el municipio de Vianí, Cundinamarca.

4.6.1 *Normatividad Nacional*

Normatividad vigente en sistemas de riego.

Tabla 3

Normatividad Nacional Vigente en sistemas de riego.

Decreto/Ley/Norma	Año	Descripción
Decreto 1895	2013	Para este decreto, la finca esta acobijada desde Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, donde estos entes, tiene como función hacer seguimiento a la política de desarrollo rural con enfoque territorial, así como el ordenamiento social de la propiedad rural y además usos del suelo.
Decreto N° 182	1968	La finca el Porvenir cuenta con agua provenientes de aguas desviadas, las cuales son reguladas y administradas por el gobierno nacional, por lo que se debe dar buen manejo de estos recursos.

LEY 41	1993	Nos regula todas las adecuaciones que vamos hacer en cuanto respecta a las aguas superficiales y su aprovechamiento y beneficio
Ley No 1876	2017	Importante en nuestro anteproyecto contemplar esta ley, puesto que contempla los Sistema Nacionales de Innovación Agropecuaria, inmersa en nuestro anteproyecto.
Ley 2811 y decretos reglamentarios.	1974	Dentro de las actividades a realizar para ejecutar e implementar el proyecto en un futuro, debemos contemplar los aspectos relacionados con el manejo de los recursos naturales y el medio ambiente.

El agua es el recurso natural más importante, se debe fomentar el ahorro y uso racional con sistemas más eficientes ayudan a aprovecharlo sin afectar a la producción del agricultor.

4.6.2 Normatividad Ambiental Vigente

Normatividad Ambiental Nacional Vigente

Tabla 4

Normatividad Ambiental Nacional Vigente

Decreto/Ley/Norma	Año	Descripción
Constitución Política de Colombia	NE	En la ejecución de cualquier proyecto tenemos derechos y obligaciones para proteger los recursos naturales y garantizar un medio ambiente sano, el cultivo de tomate debe estar contemplado ya que va ser para consumo

humano y además debemos preservar los recursos naturales de la Finca El Porvenir.

Decreto 3930	2010	El agua con la que cuenta la finca esta suministrada por un nacedero denominado El Naranjal, el cual es comunitario y ya está regulado por las Autoridades Ambientales Competentes para el consumo de las fincas de la vereda donde se encuentra la finca El Porvenir.
---------------------	-------------	--

Decreto 2820	2010	La finca El Porvenir ya cuenta con las Licencias Ambientales, las cuales deben estar articuladas al Ordenamiento de las Cuencas Hidrográficas del municipio de Vianí Cundinamarca.
---------------------	-------------	--

4.7 Normatividad Ambiental Nacional Vigente / Recurso Hídrico

Tabla 5

Normatividad Ambiental Nacional Vigente / Recurso Hídrico

Decreto/Ley/Norma	Año	Descripción
Decreto 1575	2007	Es importante contemplar que la calidad del agua para el riego del cultivo de tomate debe ser potable ya que es para consumo Humano.

Ley 373**1997**

Dentro del anteproyecto debemos incorporar el programa de uso eficiente del agua a nivel regional y municipal, de esta manera demostramos que no es una problemática local, si no que beneficiara a agricultores de la región, optimizando el recurso hídrico.

5 Diseño Metodológico.

5.1 Enfoque de la Investigación.

Según Sampieri y Mendoza, en su estudio sobre las generalidades del enfoque mixto, este método permite al investigador recolectar y analizar datos cuantitativos y cualitativos de la población, sus vivencias, experiencias, opiniones, hábitos, cultura y manera de pensar sobre el tema que se quiere investigar (Hernandez Sampieri, 2018)

Este tipo de investigación mixta obtiene una perspectiva más amplia por lo tanto incrementa la confiabilidad del fenómeno estudiado, ya que al utilizar ambos métodos se sostiene una base más sólida (Hernandez Sampieri, 2018).

El enfoque investigativo mixto se basa en el desarrollo óptimo de la propuesta a trabajar, cada enfoque cumple un papel importante dentro de la investigación, el enfoque cuantitativo se encargará de relacionar la eficiencia y tener datos de medición de la producción y el enfoque cualitativo se enfocará en la experiencia del agricultor a cargo y su manejo habitual en los cultivos que se desarrollan en la finca.

5.2 Nivel de investigación.

La investigación descriptiva de Catherine Martínez describe las características del entorno a estudiar, en este caso se enfoca al cultivo de tomate de la finca El Porvenir de la vereda Manillas del municipio de Vianí, Cundinamarca.

Este nivel de investigación se limita a observar lo que ocurre sin buscar una explicación, en búsqueda de las características del fenómeno estudiado de interés para el investigador (Martinez, s.f.).

5.3 Metodología empleada.

La Metodología empleada para el desarrollo de esta propuesta de diseño se basa en la recopilación de datos bibliográficos y con ello reconocer las condiciones que se encuentra el proceso productivo de tomate en la finca El Porvenir, esto permitirá tener un enfoque para la mejora del sistema de riego, obteniendo una automatización efectiva que suplirá las necesidades de los cultivos.

5.4 Hipótesis

Realizar una propuesta de mejora del sistema de riego por goteo manual de la finca El Porvenir en la vereda Manillas del municipio de Vianí Cundinamarca, aplicando los conocimientos adquiridos en el curso de profundización de automatización industrial, implementando el uso de PLC y simulación del sistema de riego en lenguaje Ladder de programación que ofrece Codesys.

Con esta propuesta se busca el ahorro y uso óptimo del recurso hídrico, aumentar la productividad, disminución de tiempos de riego y mejorar la calidad para el desarrollo de los cultivos de tomate de beneficio para el agricultor.

5.5 Población

McClave, Benson y Sincich afirman “una población es un conjunto de unidades usualmente personas, objetos, transacciones o eventos; en los que estamos interesados en estudiar” (Mcclave, Benson, & Sinicich, 2008)

La población es el Municipio de Vianí, en el departamento de Cundinamarca, que cuenta con 5.078 habitantes, donde el 90% de la población es rural, de los cuales un porcentaje cercano al 40% son pequeños cultivadores de tomate, ya que su principal ingreso económico esta

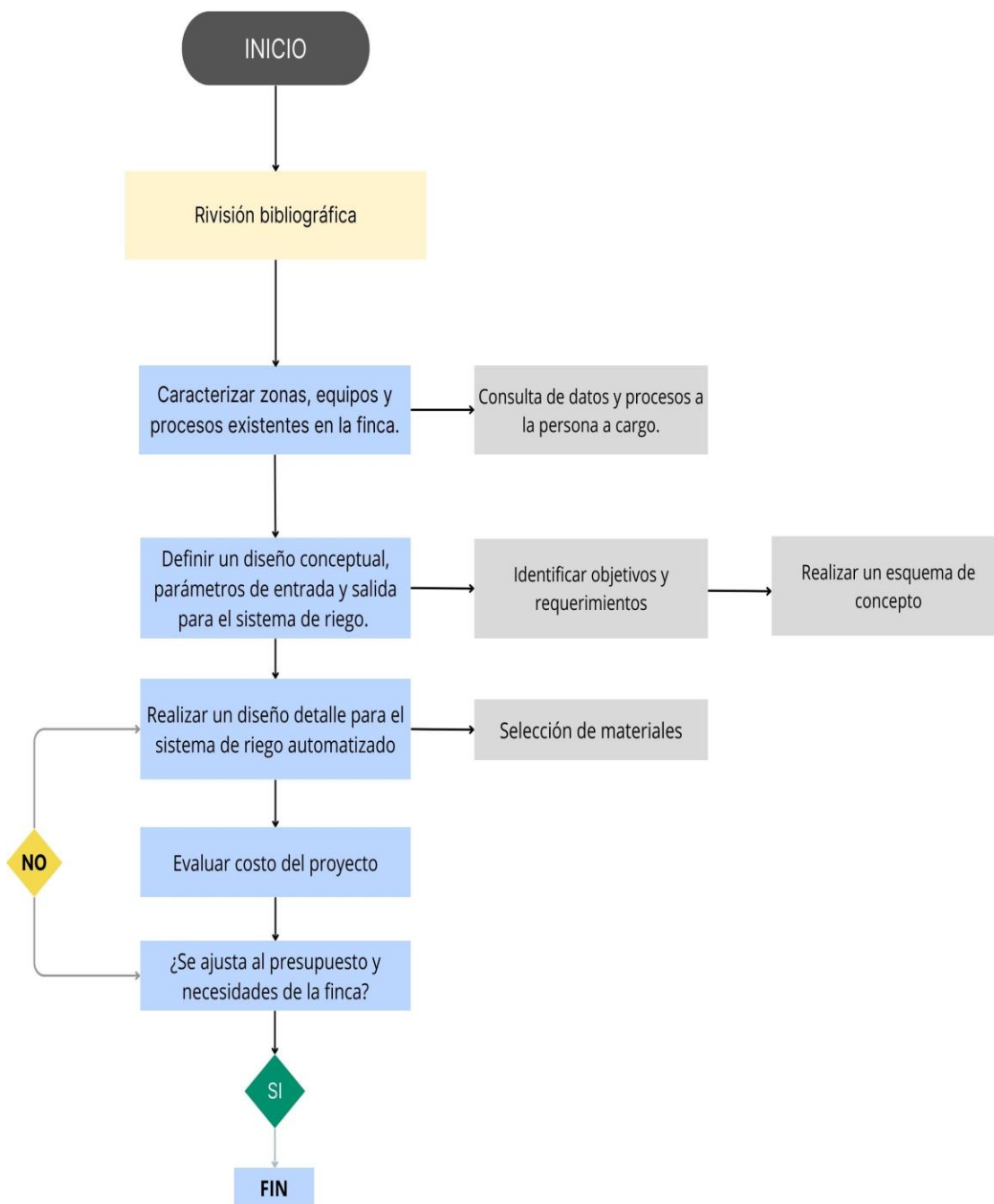
enfocado al cultivo de café, siendo este último fuente altamente significativo como sustento económico para la región.

5.6 Muestra

McClave, Benson y Sincich afirman la muestra como “subconjunto de las unidades de una población” (McClave, Benson, & Sinicich, 2008). La investigación en la región se realizará en una finca productora de cultivo de Tomate, ubicada en la vereda Manillas, llamada finca El Porvenir, la cual se encuentra administrada por el señor Víctor Manuel Muñoz, agricultor Vianiceño.

Figura 21

Diseño Metodológico



5.7 Técnicas de recolección de datos.

La técnica utilizada para la recolección de datos busca proponer una solución al problema, se realizará mediante una entrevista estructurada al agricultor encargado, la información recolectada servirá como respaldo a la propuesta planteada para la simulación de proceso de sistema de riego e implementación de sensores Desarrollo y Análisis de Resultado}

5.8 Entrevista

Sistema de Riego cultivo de tomate

Finca el Porvenir

Vereda Manillas

Se entrevista al señor Víctor Manuel Muñoz, propietario y agricultor de la Finca el porvenir de la vereda Manillas del municipio de Vianí, donde su principal producción de siembra es el tomate, la información recolectada busca encontrar las necesidades del cultivo y proponer solución a la problemática en cuanto al sistema de riego que tiene implementado.

1.- ¿Qué tipo de sistema de riego se tiene implementado en la finca?

- Riego por aspersión.
- Riego hidropónico.
- Riego por goteo.
- No se tiene implementado un sistema de riego.

Se implementa el sistema de riego por goteo en donde solo se suministra el agua necesaria a cada una de las plantas.

2.- ¿Cuenta su finca con fuentes de agua suficientes y de calidad?

- Si.
- No.

El señor Víctor Muñoz hace la recolección de agua desde una naciente llamada el Naranjal con la que cuenta la vereda Manillas, el ahorro de agua es bastante, además de hacer recolección de aguas lluvia.

3.- ¿Cuál es el rango de capacidad del invernadero para cultivo de tomate?

- 500 – 1000 plantas.
- 1.000 – 5.000 plantas.
- 5.000 - 9.000 plantas.
- 10.000 o más plantas.

Actualmente el señor Víctor Muñoz cuenta con una capacidad de cultivo para 10.000 plantas de tomate, en donde 6000 de estas se encuentran produciendo y 4.000 de ellas sembradas hace aproximadamente 20 días.

4.- ¿Cuál de los siguientes factores cree usted ha afectado mayormente sus cultivos?

- Sistema de riego ineficiente
- Escasez de agua para el riego.
- Factores climáticos.
- El manejo de plagas.

El señor Víctor Muñoz hace referencias a los factores climáticos como el indicador de pérdidas de producción, debido al manejo que le debe dar a la humedad en sus cultivos, su experiencia se basa más en la observación física de la planta para poder así manejar la cantidad de riego que debe suministrarle al cultivo en el día.

5.- ¿Con cuál de las siguientes maneras se maneja su sistema de riego implementado?

- Sistema Manual

Sistema Automatizado

El señor Víctor no tiene conocimiento de tecnologías actuales que se implementa en la automatización de los sistemas de riego, pero deja su interés en implementar estas técnicas siempre y cuando le ayuden a mejorar la calidad productiva y aprovechamiento los recursos naturales específicamente en el recurso hídrico.

6.- ¿Cuánto tiempo debe dedicarles a sus cultivos diariamente al momento de regar las plantas?

30 minutos.

1 hora.

2 horas.

3 horas o más.

Dos veces al día, 15 minutos para el riego en la mañana y 15 minutos para el riego en la tarde, se desplaza hasta la ubicación de los tanques de reserva para habilitar manualmente el paso del agua hacia las mangueras que llegan al invernadero por lo tanto el tiempo es de 1 hora diaria aproximadamente.

6 Desarrollo Ingenieril

6.1 Análisis del sistema actual.

En el proceso de riego manual en la actualidad encontramos varias fases en las cuales el Agricultor debe realizar ciertas tareas para que el riego sea efectivo:

Tabla 6*Análisis del sistema actual*

PROCESO	DESCRIPCIÓN
Fase 1	Verificar que el pozo o lago del cual se abastece la finca tenga agua.
Fase 2	Proceder con el arranque de la bomba que está al lado del pozo para proceder a llenar el isotanque que está en la parte alta de la finca.
Fase 3	Esperar a que se llene el isotanque para apagar la bomba.
Fase 4	Subir a la parte alta de la finca para realizar apertura de la válvula manual de 1" salida de isotanque hacia el cultivo
Fase 5	Verificar que la manguera no este tapada
Fase 6	Verificar que el cultivo este recibiendo el riego por medio del goteo de manera efectiva.
Fase 7	Esperar a que se desocupe el isotanque para ir nuevamente a cerrar la válvula de 1"

Figura 22

Análisis del sistema actual



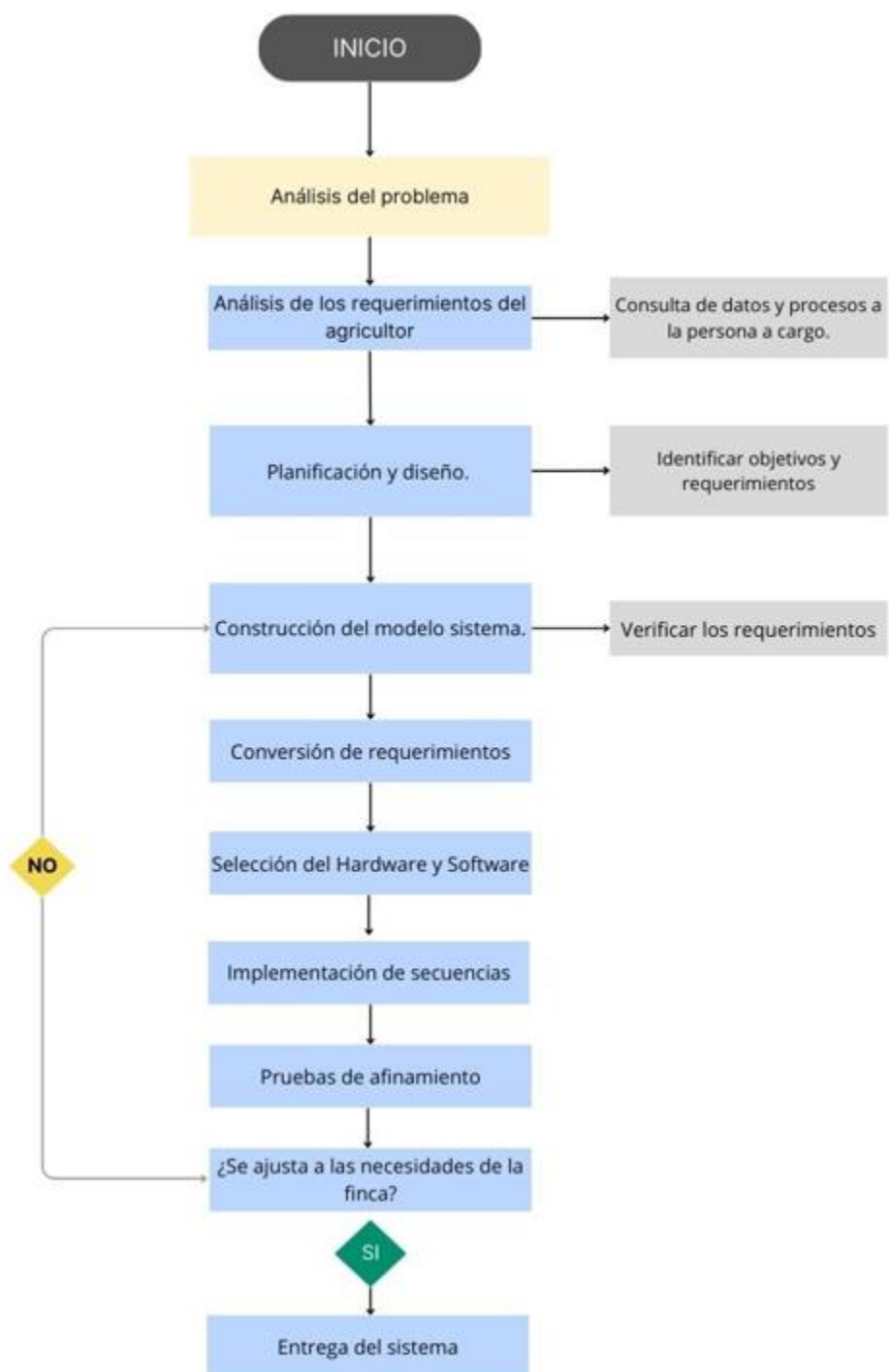
6.1.1 Análisis del sistema propuesto

Para esto se tendrá en cuenta la metodología vdi2206....

Para esta etapa del anteproyecto propuesto se tiene en cuenta la siguiente metodología VDI 2206 en el sistema de riego por goteo que se quiere implementar.

Figura 23

Metodología de diseño para sistemas mecatrónicos VDI2206.



Al realizar automatización en cualquier proceso, es importante verificar una adecuada selección de los elementos con los cuales se resuelve las problemáticas de los clientes y/o personas involucradas.

Para este caso la selección del PLC, sensores y los actuadores juega un papel importante, son los que garantizan la ejecución del sistema de riego óptimo y aporta la confiabilidad del proceso, la seguridad para sus operadores y el medio ambiente.

6.2 Planificación.

6.2.1 Ubicación área del sistema de riego a automatizar.

Primero es necesario ubicar la finca el Porvenir donde se quiere realizar la propuesta, teniendo en cuenta esto, la finca se encuentra ubicada en la vereda manillas del municipio de Viani, Cundinamarca y cuenta con un perímetro 353.69 m y un área de 8.388 m², la cual tiene determinada un área de 511.63 m² para el cultivo de tomate en invernadero.

Figura 24

Ubicación finca El Porvenir – Viani, Cundinamarca.



Fuente: Google Earth, 2023.

6.3 Diseño del sistema de riego

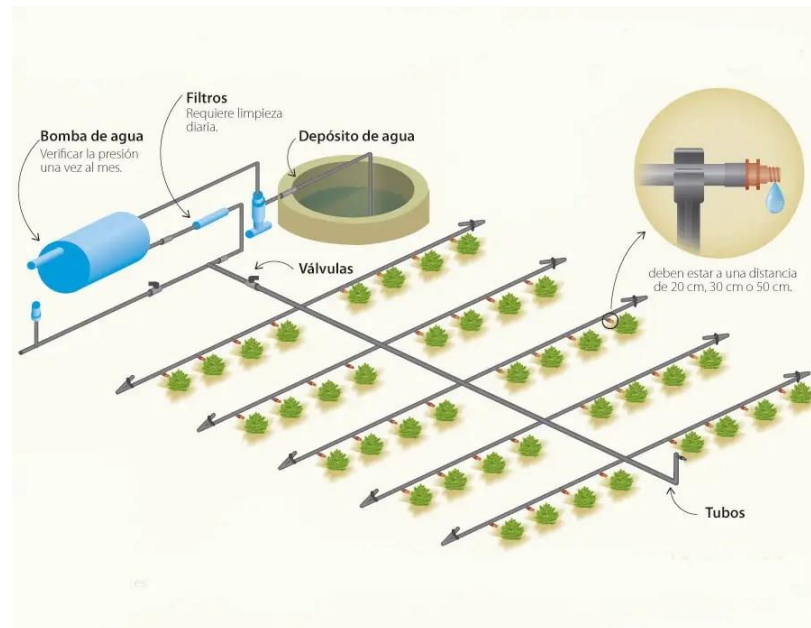
El sistema de riego por goteo automatizado es uno de los sistemas más viables para ser implementado en la finca el Porvenir, a diferencia de los demás tipos de sistemas este ayuda eficientemente a suministrar el agua a las plantas de tomate de manera gradual directamente a las raíces, minimizando la evaporación y permitiendo una aplicación precisa y controlada.

La automatización del sistema reduce el tiempo y esfuerzo requerido por el agricultor para regar sus cultivos manualmente, esto genera una menor necesidad de supervisión. Por otro lado, este tipo de sistema minimiza la compactación del suelo al evitar sobre explosión al agua, lo que contribuye a la salud del suelo.

En resumen, el sistema de riego por goteo ofrece una serie de beneficios que van desde el ahorro de agua y tiempo hasta la mejora en el crecimiento de las plantas y la sostenibilidad ambiental. Estas ventajas hacen que este método sea una opción eficiente y efectiva para la irrigación en diversas aplicaciones agrícolas y de jardinería.

Figura 25

Diseño e instalación de sistema de riego por goteo automatizado



Fuente: InfoAgronomo, 2022.

6.4 Diseño Electrónico

6.4.1 Elementos electrónicos seleccionados

- **PLC Logo! Siemens**

Figura 26

PLC Logo! siemens



¡De acuerdo con los PLC's identificados se realizó la selección del PLC Logo! de Siemens, debido a su gran capacidad de solución rápida, sencilla y que ahorra espacio para tareas de control básicas. LOGO! durante mucho tiempo ha sido un módulo de lógica inteligente para pequeños proyectos de automatización lo cual lo hace adecuado para la automatización del sistema de riego por goteo a implementar.

- **Interruptores de flotador (Sensor nivel de tanque).**

Se pretende implementar este tipo de sensor debido a que los interruptores de flotador son muy útiles para evitar el desbordamiento de líquidos, controlar el llenado de tanques, prevenir daños en bombas y otros dispositivos, y mantener un funcionamiento eficiente en diferentes sistemas, que es exactamente lo que se busca controlar en el sistema de riego por goteo a automatizar.

Figura 27

Interruptor de flotador.



Fuente: Mecacontrol, 2023.

- **Bomba centrífuga.**

En los sistemas de riego, las bombas centrífugas son utilizadas para lograr una presión adecuada para la distribución del agua a través de las tuberías. Estas bombas pueden ser accionadas por electricidad o por energía mecánica, como hidráulica o diésel la cual sería ideal en el sistema de riego de la finca el Porvenir.

Figura 28

Bomba Centrífuga.



Nota: Tomado de Bombas 360.

Características:

Tabla 7

Características del motor

MOTOR	
Tipo de Motor:	Eléctrico
Marca del motor:	Weg
Potencia del Motor:	1.00 HP
RPM del Motor:	3450 RPM
Voltaje:	127 / 220 V
Fases del motor:	Monofásico
Corriente:	12.5/6 A
Protección termica:	Si

Fuente. Elaboración propia, de acuerdo con Bombas360 (2020).

Tabla 8

Características de la bomba.

BOMBA	
Tipo de Bomba:	Doméstica
Flujo Optimo:	110.00 LPM
Altura Optima:	19.00 m
Numero de etapas:	1 etapas
Diámetro de succión:	1.25 pulg
Diámetro de descarga:	1.00 pulg
Tipo de impulsor:	Cerrado
Material del cuerpo:	Hierro Gris
Material del impulsor:	Nylon / Noryl
Material del sello mecánico:	Cerámica, carbón, acero inoxidable y/o buna
Temperatura Máxima del Agua:	40 C

6.5 Automatización

Se quiere implementar un tablero de control, donde se alimentara todos los elementos electrónicos seleccionados, esto debido a que el agricultor cuenta solo con una extensión eléctrica conectada desde su vivienda hasta el punto donde se encuentra la bomba, en donde serán ubicados, el controlador PLC para manejo de electroválvulas, un relé para la activación

del contactor el cual realizará la activación correspondiente de las bombas, se incluirá una toma para poder conectar la fuente de alimentación.

6.6 Integración

Cada sistema aporta un conjunto de funcionalidades específicas y, al integrarlos, se crea un panorama más completo y explícito de las operaciones del sistema de riego por goteo a automatizar.

Figura 29

Diagrama del sistema de riego integrado.

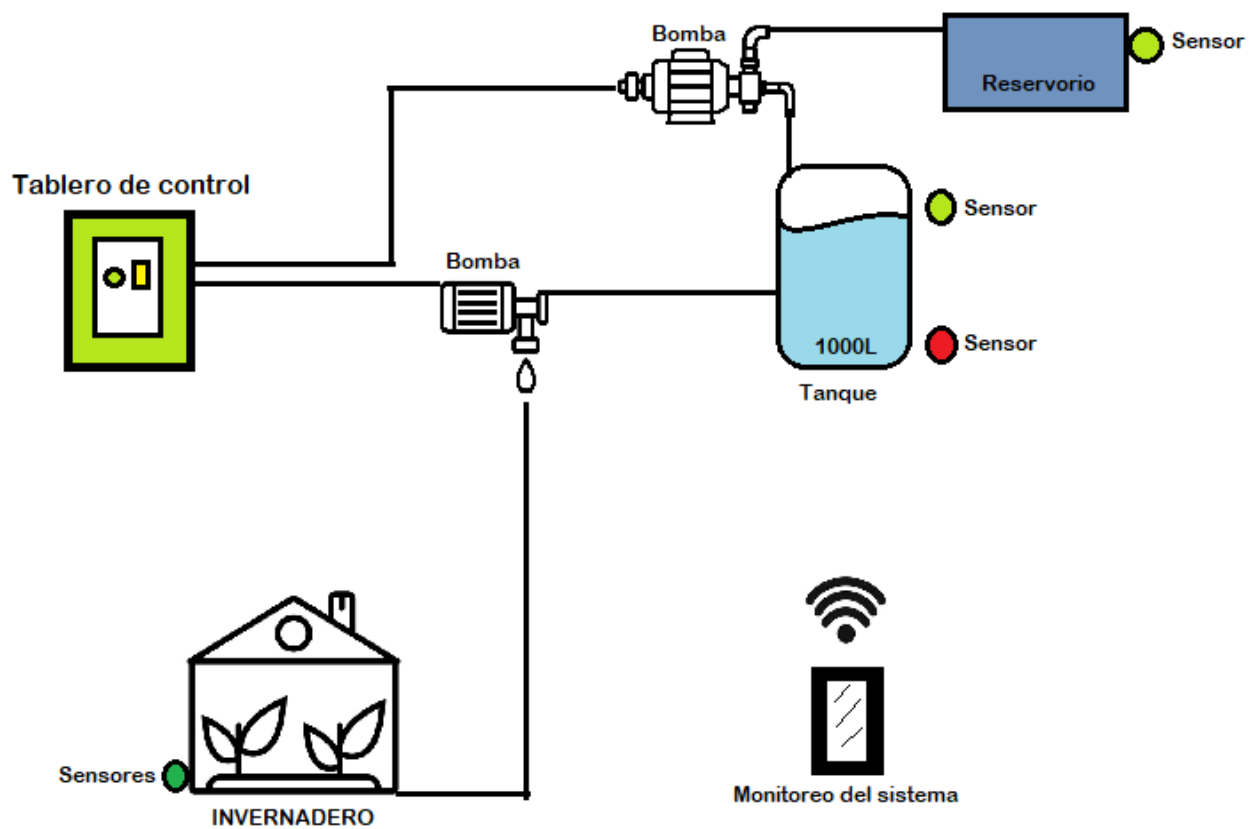
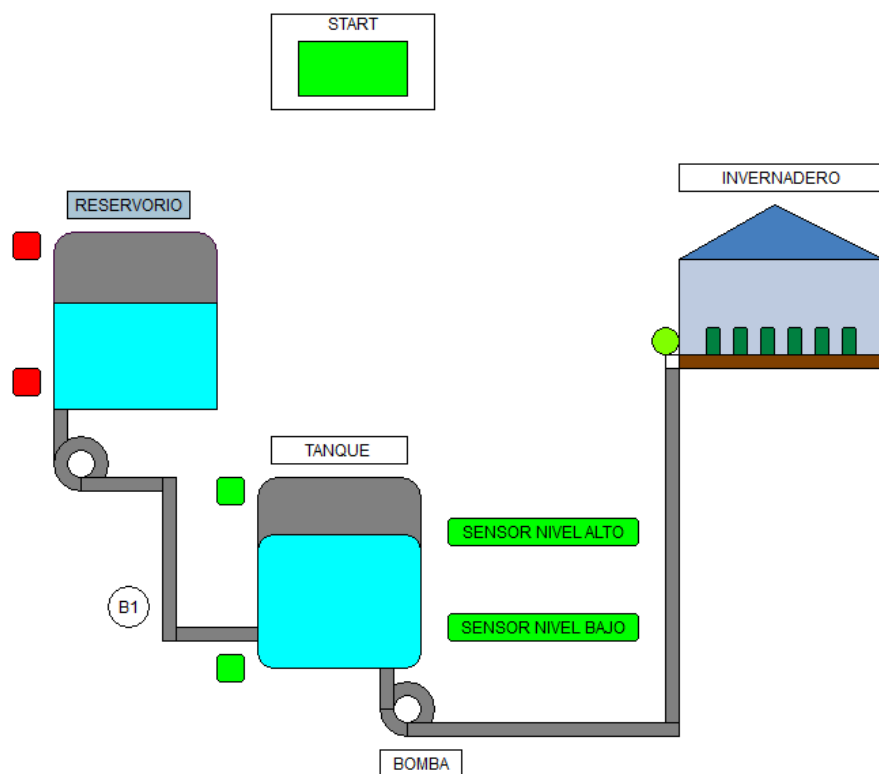


Figura 30

Visualización CoDeSys



6.7 Lógica narrativa de la programación

La automatización del riego en el cultivo de tomate de la finca el porvenir del municipio de Vianí, se realice de manera controlada por medio de PLC y a su vez será actuado por medio de bombas centrífugas.

El riego del cultivo de tomate actualmente se realiza por medio de goteo y manualmente, donde don Víctor Muñoz (agricultor), debe abrir válvulas y llenar el tanque de manera artesanal e implementar programación con PLC.

Por medio de una bomba se alimenta el tanque (bidón) desde el reservorio o pozo, al cual se le van a colocar dos sensores de nivel S1 y S2, uno de nivel alto y otro de nivel bajo.

Se tienen dos bombas centrífugas A y B, las cuales nos van a transferir el líquido (agua) desde un punto a otro.

La bomba A será de transferencia de pozo (reservorio) hasta el tanque bidón.

La bomba B será de transferencia del tanque bidón hasta el cultivo.

La bomba A en la tubería de succión contará con un sensor de flujo S3, el cual garantizará que la bomba encienda verificando que haya fluido en el tanque tipo pozo.

El sensor de nivel alto S1 cuando se active apagará la bomba A para evitar que se rebose el agua y haya un desperdicio del líquido. A su vez encenderá la bomba B para realizar el riego por las líneas de manguera y/o tubería.

El sensor de nivel bajo S2 cuando se active apagará la bomba B para evitar que trabaje en vacío y tenga afectaciones como sucede en los sellos mecánicos de estos equipos rotativos. A su vez encenderá la bomba A para que realice el llenado del tanque bidón nuevamente.

Este ciclo solo se realiza una vez en la mañana y una vez en la tarde como se describió anteriormente. Se parametrizará la programación para realizar el riego automático a las 08:00 am y el otro a las 03:00pm respectivamente.

7 Recursos

7.1 Infraestructura

- Equipo

7.2 Recursos para operación

- Servicios de información y obtención de documentos

- Gastos de trabajo de campo
- Reactivos, materiales y consumibles
- Mantenimiento de equipo
- Viáticos para estancias de investigación
- Edición o impresión

Tabla 9*Recursos*

TIPO	CATEGORIA	RECURSO	DESCRIPCIÓN	FUENTE DE FINANCIACIÓN	MONTO
Recursos disponibles	Infraestructura	Equipos	Computadores	Personal	
		Equipos	Portatiles	Personal	
		Servicio Internet	Investigación	Personal	\$ 240.000
		Vehiculo (carro, moto)	Para traslados a la finca y comunidad	Personal	
		Telefono movil	Comunicación y toma de fotografías	Personal	\$ 140.000
Recursos necesarios	Gastos de trabajo de campo	Agenda, lapiceros			\$ 12.000
	Materiales	Gasolina			\$ 180.000

8 Cronograma de actividades

Tabla 10

Cronograma de Actividades

Domingos	SI	Cronograma de Gant Propuesta sistema de Riego automatizado para cultivo de tomate en la finca Porvenir municipio de Viani, Cundinamarca														
Resumen de Actividades																
PENDIENTE	0	01/oct	02/oct	03/oct	04/oct	05/oct	06/oct	07/oct	08/oct	09/oct	10/oct	11/oct	12/oct	13/oct	14/oct	15/oct
EN PROCESO	0	dom	lun	mar	mié	jue	vie	sáb	dom	lun	mar	mié	jue	vie	sáb	dom
FINALIZADO	8															
Total Actividades	8															
Lluvia de ideas plantamiento del problema	Alejandro Lievano-Mauricio Castillo	4-oct	6-oct	FINALIZADO												
Realizacion de los objetivos y justificacion	Alejandro Lievano-Mauricio Castillo	6-oct	6-oct	FINALIZADO												
Recoleccion informacion de investigaciones y repositorios sobre sistemas de riego automatizado	Alejandro Lievano-Mauricio Castillo	6-oct	13-oct	FINALIZADO												
Redaccion del marco referencial	Alejandro Lievano-Mauricio Castillo	16-oct	5-nov	FINALIZADO												
Recoleccion y creacion del marco legal	Alejandro Lievano-Mauricio Castillo	21-oct	24-oct	FINALIZADO												
Identificacion de los recursos	Alejandro Lievano-Mauricio Castillo	27-oct	28-oct	FINALIZADO												
Planteamiento del diseño y tecnica de investigacion	Alejandro Lievano-Mauricio Castillo	7-nov	9-nov	FINALIZADO												
Recoleccion y analisis de la entrevista	Alejandro Lievano-Mauricio Castillo	11-nov	15-nov	FINALIZADO												
Creacion del trabajo escrito anteproyecto	Alejandro Lievano-Mauricio Castillo	6-nov	19-nov	FINALIZADO												

Nota: Visualizar anexos archivo Excel cronograma actividades

9 Bibliografía

- Agromatica. (s.f.). *Consumo medio de agua tomate*. Obtenido de <https://www.agromatica.es/wp-content/uploads/2012/06/consumo-de-agua-medio-tomate.jpg>
- Agropinos. (31 de enero de 2017). *Tipo de sistemas de riego para su invernadero*. Obtenido de [agropinos.com: https://www.agropinos.com/blog/sistemas-de-riego-para-su-invernadero](https://www.agropinos.com/blog/sistemas-de-riego-para-su-invernadero)
- Areatecnologia. (2008). *Siemens PLC Logo*. Obtenido de Areatecnologia: <https://www.areatecnologia.com/electricidad/plc-logo.html>
- Buton, I. (2020). *Industrial IoT*. Obtenido de Springer.
- Cindex. (5 de Junio de 2018). *¿Cómo funciona una bomba centrífuga?* Obtenido de [cindex.com.mx: https://www.cindex.com.mx/bombas/conoces-el-funcionamiento-de-una-bomba-centrifuga/](https://www.cindex.com.mx/bombas/conoces-el-funcionamiento-de-una-bomba-centrifuga/)
- Climate Data. (2021). *Tabla Climatica, Datos historicos del tiempo Viani*. Obtenido de [Clima Viani Colombia: https://es.climate-data.org/america-del-sur/colombia/cundinamarca/viani-49829/](https://es.climate-data.org/america-del-sur/colombia/cundinamarca/viani-49829/)
- Corponariño. (s.f.). *Decreto 3930 de 2010*. Obtenido de [corponarino.gov.vo: https://corponarino.gov.co/expedientes/calidadambiental/boletin/2014res091vetq.pdf](https://corponarino.gov.co/expedientes/calidadambiental/boletin/2014res091vetq.pdf)
- Corporacion Autonoma Regional. (Diciembre de 2010). *Distritos de Riego CAR Equilibrio entre productividad y el ambiente*. Obtenido de Carta Ambiental: <https://sie.car.gov.co/bitstream/handle/20.500.11786/15/Carta%20Ambiental%2025.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cortes Cadavid, V., & Vargas Garcia, M. F. (2020). *Diseño E Implementación De Un Sistema De Riego Automatizado Y Monitoreo De Variables Ambientales Mediante Iot En Los Cultivos Urbanos De La Fundación Mujeres Empresarias Marie Poussepin*. Obtenido de

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA:

<https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/5dbe9100-e30b-4c32-a627-a0492baa7f56/content>

DANE . (2013). *Encuesta Nacional Agropecuaria - ENA - 2013*. Obtenido de Microdatos DANE:
<https://microdatos.dane.gov.co/index.php/catalog/315>

DANE. (2014). *Insumos y factores asociados a la producción agropecuaria*. Obtenido de DANE:
https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/insumos_factores_de_produccion_dic_2014.pdf

DANE. (22 de Marzo de 2023). *Proyecciones de Población*. Obtenido de DANE:
<https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>

DEL SUR, O. (7 de enero-diciembre de 2008). *Respuestas de las temperaturas superficial del mar y del aire de*. Obtenido de Revista EIDENAR:
https://www.researchgate.net/profile/Nancy-Villegas-Bolanos/publication/237030250_RESPUESTAS_DE_LAS_TEMPERATURAS_SUPERFICIAL_DEL_MAR_Y_DEL_AIRE_DE_LA_CUENCA_DEL_PACIFICO_COLOMBIANO_PRODUCIDAS_POR_EL_NINO_OSCILACION_DEL_SUR/links/00b4953a1a2dbb09f2000000/R

Demin, P. E. (2014). *Aportes para el mejoramiento del manejo de los sistemas de riego : métodos de riego: fundamentos, usos y adaptaciones*. San Fernando del Valle de Catamarca, Catamarca: Ediciones INTA.

Flacso Andes. (2013). *La Gestión Integral de los Recursos Hídricos: Aportes a un desarrollo conceptual para la gobernabilidad*. Obtenido de repositorio.flacsoandes.edu.ec:
<https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/bitstream/10469/1365/2/TFLACSO-02-2009SBM.pdf>

Funcion Publica. (s.f.). *Decreto 2811 de 1974*. Obtenido de funcionpublica.gov.co:

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=1551>

Gavilanes Pilco, A. D. (2022). *Optomizacion del Sistema de Riego usando Agricultura 4.0* .

Obtenido de Universidad Tecnologica Indoamerica:

<https://repositorio.uti.edu.ec/bitstream/123456789/4458/1/Gavilanes%20Pilco%20Alex%20Dami%c3%a1n.pdf>

Gobierno de Mexico. (2016). *Aplicación de riego: 27.6% de la superficie sembrada en 2016, es de riego*. Obtenido de gob.mx: <https://www.gob.mx/siap/articulos/aplicacion-de-riego-27-6-de-la-superficie-sembrada-en-2016-es-de-riego>

Grupo Chamartin. (13 de 05 de 2022). *La Intrincada Historia de los sistemas de Riego*.

Obtenido de Chamsa: <https://grupochamartin.com/noticias/la-intrincada-historia-de-los-sistemas-de-riego/>

Guerrero Moro, C., Escalona Mendoza, R. A., & Tapai Hernandez, G. (11 de Diciembre de 2018). *Los microaspersores están diseñados para regar con gotas de agua muy finas. Tienen un deflector giratorio, llamado roto o bailarina, que ayuda a proporcionar un diámetro de cobertura mayor, menos lluvia que los difusores, tamaños de gota más grandes y una*. Obtenido de INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL:

<https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/27827/Tesis%20-%20Dise%C3%B1o%20e%20Instalaci%C3%B3n%20de%20Riego%20Automatizado.pdf?sequence=1>

Hernandez Sampieri, R. (2018). *Metodología de la investigacion*. Mexico: McGraw.

Insitituto canario de investigaciones agrarias. (2002). *Cultivo bajo invernadero*. Obtenido de ICIA:

https://www.icia.es/icia/index.php?option=com_content&view=article&id=2450:cultivo-bajo-invernadero&catid=115&Itemid=432

ISDM Ingenieria Sostenible. (2017). *Mapa de Clasificacion del Clima*. Obtenido de ismd.com.co:

<http://ismd.com.co/wp-content/uploads/2017/03/Anexo-No-2-Mapa-de-Clasificaci%C3%B3n-del-Clima-en-Colombia.pdf>

ISDM INGENIERIA SOSTENIBLE. (2017). *Mapa de Clasificacion del Clima*. Obtenido de

ismd.com.co: <http://ismd.com.co/wp-content/uploads/2017/03/Anexo-No-2-Mapa-de-Clasificaci%C3%B3n-del-Clima-en-Colombia.pdf>

Liotta, M. (2015). *Sistema de riego por goteo*. Obtenido de prosap.gov.ar:

<http://www.prosap.gov.ar/Docs/3-%20Sistema%20de%20riego%20por%20goteo.pdf>

Maher Smart Agrocontrollers. (s.f.). *Sistema de Riego Automático: en qué consiste y cuáles son sus ventajas*. Obtenido de ¿Qué es un sistema de Riego Automático?:

<https://www.maherelectronica.com/sistema-riego-automatico/>

MALAGON FERREIRA, F. A. (2017). *Promoción del riego y drenaje con fines agrícolas como instrumento de política pública para reducir la pobreza rural en Colombia*. Obtenido de Universidad Externado de Colombia:

<https://bdigital.uexternado.edu.co/entities/publication/e24991e6-9664-4cdf-bb6c-440fe95d3724>

Martinez, C. (s.f.). *Investigación Descriptiva: Tipos y Características*. Obtenido de

s9329b2fc3e54355a.jimcontent.com:

<https://s9329b2fc3e54355a.jimcontent.com/download/version/1545253266/module/9548087569/name/Investigaci%C3%B3n%20Descriptiva.pdf>

Mcclave, J., Benson, G., & Sinicich, T. (2008). *Statistics for business and economics*. New York: Tenth Edition.

Ministerio de agricultura y desarrollo rural. (2020). *Resolucion N 000311 de 2020*. Obtenido de

Minagricultura.gov.co:

<https://www.minagricultura.gov.co/Normatividad/Resoluciones/RESOLUCI%C3%93N%20NO.%20000311%20DE%202020.pdf>

Ministerio de agricultura y desarrollo social. (septiembre de 2013). *DECRETO 1895 de 2013*.

Obtenido de MINIAGRICULTURA:

https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/Resoluci%C3%B3n%201895%20de%202013.pdf

Mundoinvernadero. (s.f.). *Sistemas de riego*. Obtenido de mundoinvernaderos.com:

<https://www.mundoinvernaderos.com/riego>

Muñoz, P., Gutierrez, D., & Suarez, A. (s.f.). *Automatización de un Sistema de Riego Agrícola por Técnica de Goteo y Aspersión*. Obtenido de Escuela de Ingeniería Mecatrónica, Universidad Ricardo Palma –Peru: <https://www.urp.edu.pe/pdf/id/1929/n/automatizacion-de-un-sistema-de-riego-agricola-por-tecnica-de-goteo-y-aspersion>

Organizacion de las Naciones Unidas. (s.f.). *Factores que se deben consideran para seleccion el sistema de riego mas adecuado*. Obtenido de FAO. ORG:

<https://www.fao.org/3/aj470s/aj470s02.pdf>

Ortiz Alejandro, R. J. (septiembre de 2023). *Diseño de un sistema IIoT de un vivero para la formación de profesionales en competencias de la industria 4.0*. Obtenido de Acofipapers.org: <https://acofipapers.org/index.php/eiei/article/view/2943/2322>

Paredes Zambrano, A. (Junio de 2009). *Manual del cultivo de tomate de invernadero*. Obtenido de Corpoica:

https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/2196/43989_55756.pdf?squence=1

Perry, S. (2014). *Situación actual de la ciencia y la tecnología agropecuaria en Bogota*.

Perry, S. (2014). *Situación actual de la ciencia y la tecnología agropecuaria en Colombia*.

Bogota.

- Prieto Poveda, D. O. (2019). *La tecnificación como herramientas para incrementar la productividad agropecuaria en Colombia*. Obtenido de Fundacion Universitaria de America: <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7246/1/2142125-2019-1-EF.pdf>
- Rincon Vieda, P. A., Silva Plazas, J. A., & Torres Camacho, A. F. (2016). *Automatizacion de invernaderos para produccion agricola con tecnologia d punta a bajo costo*. Obtenido de revistas.sena.edu.co: <https://revistas.sena.edu.co/index.php/riag/article/view/1419/1523>
- S&P blog de ventilacion eficiente. (3 de Mayo de 2017). *Sensor de temperatura: tipos y normativa*. Obtenido de Solerpalau: <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/sensor-temperatura/#:~:text=Los%20sensores%20de%20temperatura%20son,nombre%20de%20sondas%20de%20temperatura.>
- Santos Pereira, L., De Juan Valero, J. A., Pirconell Buendia, M. R., & Tarjuelo Marin Benito, J. M. (2010). *Riego y sus Tecnologias*. Albacete, España: CREA-UCLM.
- Sistema unico de informacion normativa. (s.f.). *Decreto 182 de 1968*. Obtenido de suin-juriscal.gov.co: <https://www.suin-juriscal.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Decretos/1041340>
- Sistema unico de informacion normativa. (s.f.). *Ley 1876 de 2017*. Obtenido de suin-juriscal.gov.co: <https://www.suin-juriscal.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Leyes/30034416>
- Tapia Cadena, D. F. (2014). *Manual de diseño de sistemas de riego tecnificado*. Obtenido de dspace.uce.edu.ec: <https://www.dspace.uce.edu.ec/entities/publication/d4639812-cde2-4462-998a-f4a8c5cac7a2>
- Toro, C. M. (2016). *CONTROL AUTOMATIZADO PARA EL RIEGO*. Obtenido de UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA:

<https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/b28964df-9b6e-456c-a565-05d9626314b5/content>

Universidad Nacional de la Plata. (2018). *Controlador lógico programable - PLC* -. Obtenido de Escuela universitaria de oficios UNLP: <https://unlp.edu.ar/wp-content/uploads/34/33734/5ec0cdabf060392904acb56348c3b8a9.pdf>

10 Anexos

Cronograma de actividades

Costos